

Procédé de recherche de contenu, notamment d'extraits communs entre deux fichiers informatiques

5 La présente invention concerne la recherche de contenu informatique, en particulier d'extraits communs entre deux fichiers.

Plus particulièrement, il s'agit de rechercher au moins un extrait commun entre un premier fichier et un second fichier, sous forme de données binaires.

10 Les techniques actuellement connues proposent une recherche à l'identique, généralement donnée par donnée. La lenteur de la recherche, pour des applications à des fichiers de grandes tailles, devient rédhibitoire.

15 La présente invention vient améliorer la situation.

Elle propose à cet effet un procédé de recherche de contenu qui comporte une préparation préalable du premier fichier précité au moins, comprenant les étapes suivantes :

- 20 a) segmenter le premier fichier en une succession de paquets de données, de taille choisie, et identifier des adresses de paquets dans ledit fichier,
- b) associer à l'adresse de chaque paquet une signature numérique définissant un état en logique floue parmi au moins trois états : "vrai", "faux" et "indéterminé", ladite signature résultant d'un calcul combinatoire sur des données issues dudit fichier,

le procédé se poursuivant ensuite par une recherche d'extrait commun, proprement dite, comprenant les étapes suivantes :

- 25 c) comparer les états de logique floue associés à chaque adresse de paquet du premier fichier, avec des états de logique floue déterminés à partir de données issues du second fichier,
- d) éliminer de ladite recherche d'extrait commun des couples d'adresses respectives des premier et second fichiers dont les états logiques respectifs sont "vrai" et "faux" ou "faux" et "vrai", et conserver les autres couples d'adresses identifiant des paquets de données
- 30 susceptibles de comporter ledit extrait commun.

A l'étape b), on affecte préférentiellement à un paquet de données l'état :

- "vrai" si toutes les données du paquet vérifient une première condition,

- "faux" si toutes les données du paquet vérifient une seconde condition, contraire à la première condition,
- et "indéterminé" si certaines données du paquet vérifient la première condition, tandis que d'autres données du paquet vérifient la seconde condition.

5

Dans un mode de réalisation préféré, on applique aux données d'un fichier un traitement préalable à l'étape b) et comportant les étapes suivantes :

- a1) on considère les données du fichier en tant que suite d'échantillons obtenus à une fréquence d'échantillonnage prédéterminée, et de valeurs codées selon un code de représentation binaire, et
- a2) on applique un filtre numérique sur lesdits échantillons, adapté pour minimiser une probabilité d'obtention de l'état "indéterminé" pour les signatures numériques associées aux paquets d'échantillons.

15

Avantageusement, l'application dudit filtre numérique revient à :

- appliquer une transformée spectrale aux données échantillonnées,
- appliquer un filtre passe-bas à ladite transformée spectrale,
- et appliquer une transformée spectrale inverse après ledit filtre passe-bas.

20

Ce filtre passe-bas opère préférentiellement sur une bande de fréquences comprenant sensiblement l'intervalle :

$$[-F_e/2(k-1), +F_e/2(k-1)],$$

où F_e est ladite fréquence d'échantillonnage,

et k est le nombre d'échantillons que comporte un paquet.

25

Avantageusement, le filtre numérique comporte un nombre prédéterminé de coefficients de même valeur, et la réponse fréquentielle du filtre passe-bas associé s'exprime, en fonction de la fréquence f , par une expression du type :

$$\sin(\text{PI} \cdot f \cdot T) / (\text{PI} \cdot f \cdot T),$$

30

où $\sin()$ est la fonction sinus, et avec :

- $\text{PI} = 3,1416$, et
- $T = (K-1)/F_e$ où K est ledit nombre prédéterminé de coefficients et F_e ladite fréquence d'échantillonnage.

Préférentiellement, le filtre numérique est un filtre à valeur moyenne d'un nombre prédéterminé de coefficients, et en ce que la différence entre deux échantillons filtrés successifs est proportionnelle à la différence entre deux échantillons non filtrés, respectivement d'un premier rang et d'un second rang, espacés dudit nombre prédéterminé de coefficients, et en ce que le calcul desdits échantillons filtrés est effectué en exploitant cette relation pour réduire le nombre d'opérations de calcul à effectuer.

Le nombre prédéterminé de coefficients du filtre est préférentiellement supérieur ou égal à $2k-1$, où k est le nombre d'échantillons que comporte un paquet, valeur qui pourra être désignée par la suite par le terme rapport d'index.

Préférentiellement :

- l'état "vrai" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, tous les échantillons filtrés ont une valeur supérieure à une valeur de référence choisie,
- l'état "faux" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, tous les échantillons filtrés ont une valeur inférieure à une valeur de référence choisie, et
- l'état "indéterminé" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, les échantillons filtrés ont, pour certains, une valeur inférieure à ladite valeur de référence, et, pour d'autres échantillons filtrés, une valeur supérieure à ladite valeur de référence.

Avantageusement, pour tout échantillon filtré r_n , d'ordre donné n , ladite valeur de référence est calculée en moyennant les valeurs des échantillons non filtrés f_k , sur un nombre choisi d'échantillons consécutifs non filtrés autour d'un échantillon non filtré f_n , du même ordre donné n .

Les valeurs des échantillons filtrés sont préférentiellement ramenées, pour comparaison, à une valeur seuil nulle, et les échantillons filtrés r'_n s'expriment alors par une somme du type :

$$r'_n = K_{ref} \sum_{k=-(K/2)}^{(K/2)-1} f_{n+k} - K \sum_{k=-(K_{ref}/2)}^{(K_{ref}/2)-1} f_{n+k},$$

où :

- f_{n+k} sont des échantillons non filtrés obtenus à l'étape a1),
- K est le nombre de coefficients du filtre numérique, préférentiellement choisi pair, et

- K_{ref} est ledit nombre d'échantillons non filtrés autour d'un échantillon non filtré f_n , préférentiellement choisi pair et supérieur audit nombre de coefficients K .

5 Dans une réalisation avantageuse, on applique la somme précitée aux échantillons non filtrés f_n une pluralité de fois, selon un traitement effectué en parallèle, en faisant varier respectivement le nombre de coefficients K . Cette mesure permet alors de déterminer une pluralité de signatures numériques, sensiblement indépendantes statistiquement.

10 Dans une réalisation particulière, les états flous associés au premier fichier au moins sont codés chacun sur au moins deux bits.

15 Dans cette réalisation, les états flous déterminés pour un nombre de coefficients K le plus faible sont codés sur des bits de poids le plus faible et les états flous déterminés pour un nombre de coefficients K plus grand sont codés sur des bits suivants, jusqu'à un nombre total choisi de bits. On comprendra que ce nombre choisi peut être adapté avantageusement à la taille des données binaires utilisée par les microprocesseurs d'entités informatiques pour des opérations logiques de comparaison.

Préférentiellement, chaque échantillon filtré r_n s'exprime comme une somme du type :

20
$$r_n = \sum_{i=I_1}^{I_2} \text{filtre}_i \times f_{(n+i)}, \text{ où :}$$

- $f_{(n+i)}$ sont des échantillons non filtrés,
- filtre_i sont des coefficients d'un filtre numérique, intégrant, le cas échéant, une valeur seuil ramenée à zéro,

25 et l'on choisit un nombre k d'échantillons non filtrés que comporte un paquet, au minimum égal à 2 et inférieur ou égal à une expression du type :

$(TEF - I_1 - I_2 + 1)/2$, où TEF est une taille minimale souhaitée des extraits communs recherchés.

Cette mesure permet avantageusement d'assurer un recouvrement d'un paquet de k données utilisé pour le calcul d'une seule donnée de signature numérique.

Dans cette réalisation,

- pour une valeur donnée TEF de la taille minimale souhaitée d'extraits communs recherchés, on détermine une plage de valeurs utilisables pour ledit nombre k d'échantillons non filtrés que comporte un paquet,
- 5 - et, pour chaque valeur utilisable du nombre k, on détermine une taille optimale TES d'une succession de données de signatures numériques pour laquelle la détection d'un extrait commun de taille TEF est garantie.

Ladite taille optimale TES est alors inférieure ou égale à une expression du type :

$E[(TEF - I_1 - I_2 + 1)/k] - 1$, où $E(X)$ désigne la partie entière de X .

10

Pour une application où les deux fichiers à comparer comportent des données représentatives de caractères alphanumériques, notamment du texte et/ou un code informatique ou génétique, le procédé comporte avantageusement :

- un premier groupe d'étapes comportant la formation des signatures numériques et leur comparaison, pour une recherche grossière, et
- 15 - un second groupe d'étapes, notamment pour une recherche fine, comportant une comparaison à l'identique dans les plages d'adresses vérifiant la comparaison grossière,

On considère alors les données d'un fichier en tant que suite d'échantillons, avec un nombre choisi k d'échantillons par paquet, la valeur de ce nombre choisi k étant optimisée initialement en recherchant un minimum d'opérations de comparaison à effectuer.

20

Pour l'optimisation du nombre choisi k d'échantillons par paquet, on tient compte avantageusement d'un nombre total :

- d'opérations de comparaison de signatures numériques à effectuer, et
 - 25 - d'opérations de comparaison de données à l'identique à effectuer ensuite,
- ce nombre total d'opérations étant minimum pour un ensemble fini de nombres k.

30

Le procédé prévoit avantageusement une étape au cours de laquelle on obtient une information relative à une taille minimale souhaitée d'extraits communs recherchés, utilisée pour optimiser ledit nombre choisi k d'échantillons par paquet. Ce nombre optimal k d'échantillons par paquet varie alors sensiblement comme ladite taille minimale, de sorte que plus la taille minimale souhaitée d'extraits communs recherchés est grande, plus le nombre total d'opérations de comparaison diminue, et donc plus la durée de la recherche d'extrait commun est courte.

Pour d'autres applications telles que la recherche de contenu de fichiers audio, vidéo, ou autres, la recherche d'extraits communs consiste préférentiellement en un unique groupe d'étapes comportant la formation des signatures numériques et leur comparaison. Le nombre de données par paquet est alors optimisé en se fixant initialement un indice de confiance

5 caractérisant un seuil acceptable de probabilité de fausse détection d'extraits communs.

Dans un mode de réalisation général préféré, pour le premier fichier :

- on applique l'échantillonnage à une fréquence d'échantillonnage choisie,
- 10 - le filtrage numérique correspondant à un filtrage passe-bas dans l'espace des fréquences, et
- la combinaison des échantillons filtrés pour obtenir des signatures numériques à l'état "vrai", "faux" ou "indéterminé", associées aux adresses respectives du premier fichier,

tandis que, pour le second fichier :

- on applique l'échantillonnage à une fréquence d'échantillonnage choisie,
- 15 - le filtrage numérique correspondant à un filtrage passe-bas dans l'espace des fréquences, et
- on détermine l'état logique associé à chaque paquet d'échantillons filtrés à partir de l'état logique associé à un seul échantillon filtré choisi dans chaque paquet (de manière préférentielle comme étant le premier échantillon de chaque paquet),

de manière à obtenir des signatures numériques ne comportant que des états logiques "vrai" ou "faux" et ainsi à améliorer la sélectivité de la comparaison des signatures numériques.

20

Dans cette réalisation,

- si l'état logique associé à une adresse du premier fichier est "vrai" ou "indéterminé", tandis que l'état logique associé à une adresse du second fichier est "vrai", le couple desdites
- 25 adresses est retenu pour la recherche d'extrait commun,
- si l'état logique associé à une adresse du premier fichier est "faux" ou "indéterminé", tandis que l'état logique associé à une adresse du second fichier est "faux", le couple desdites adresses est retenu pour la recherche d'extrait commun,

tandis que les autres couples d'adresses sont exclus de la recherche.

30

Bien entendu, le procédé au sens de la présente invention est mis en œuvre par des moyens informatiques tels qu'un produit programme d'ordinateur, décrit plus loin. A ce titre, l'invention vise aussi un tel produit programme d'ordinateur, ainsi qu'un dispositif, tel qu'une

entité informatique, comportant un tel programme dans l'une de ses mémoires. L'invention vise aussi un système d'entités informatiques de ce type, communicantes, comme on le verra plus loin.

- 5 Ce programme d'ordinateur est capable notamment de générer une signature numérique d'un fichier de données binaires, cette signature numérique étant ensuite comparée à une autre signature pour la recherche d'extrait commun. On comprendra que la signature numérique d'un fichier quelconque de données, élaborée par le procédé au sens de l'invention, est un moyen essentiel pour mener l'étape de comparaison. A ce titre, la présente invention vise aussi
10 la structure de données de cette signature numérique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 résume sensiblement les principales étapes de recherche fine,
- 15 - la figure 2A représente schématiquement l'agencement d'un tableau bidimensionnel pour la comparaison de deux fichiers de données, en fonction des adresses des données de ces deux fichiers,
- la figure 2B représente schématiquement un tableau bidimensionnel pour la comparaison à l'identique de deux fichiers texte «*Des moutons*» et «*Un mouton*»,
- 20 - la figure 3 représente la correspondance entre les adresses de données et les adresses de blocs de données obtenus après élaboration d'une signature numérique, ici pour un rapport d'index qui vaut 4,
- la figure 4A représente un tableau bidimensionnel pour la comparaison des signatures numériques de deux fichiers texte «*Des moutons*» et «*Un mouton*», avec un rapport d'index de 2,
- 25 - la figure 4B représente un tableau bidimensionnel pour la comparaison à l'identique, fine et qui suit en principe l'étape de recherche grossière de la figure 4A, des deux fichiers texte «*Des moutons*» et «*Un mouton*»,
- les figures 5A et 5B représentent respectivement les tables de vérité des fonctions « OU » et « ET » en logique binaire,
- 30 - la figure 5C représente un tableau de codage des états flous sur deux bits B0 et B1,

- les figures 5D et 5B représentent respectivement les tables de vérité des fonctions « OU » et « ET » en logique floue (par application de la loi de codage d'états flous de la figure 5C),
- les figures 6A et 6B représentent respectivement les valeurs des états en logique binaire associées aux données d'un fichier en fonction des adresses de ces données dans le fichier et les valeurs des états en logique floue associées globalement à ces données en fonction des mêmes adresses (la fonction « OU » en logique floue ayant été appliquée ici dans chaque bloc de données entre les états logiques associés à chaque donnée d'un bloc),
- les figures 7A, 7B et 7C représentent des tableaux de détermination d'états binaires et flous à partir d'exemple de fichiers texte. Pour ces exemples, les états binaires sont déterminés à partir de la loi suivante :
 - 0 si la valeur entière du code ASCII du caractère est strictement inférieure à 111,
 - 1 la valeur entière du code ASCII du caractère est supérieure ou égale à 111 ;
- la figure 7A est un tableau représentant les différents états flous associés à un fichier texte «*La tortue*» pour différentes valeurs du rapport d'index,
- la figure 7B représente des tableaux donnant respectivement les signatures numériques associées aux fichiers respectifs «*Le lièvre*» et la «*La tortue*», pour un rapport d'index de 2,
- la figure 7C représente un tableau comparant les signatures numériques de la figure 7B pour la recherche d'extraits communs,
- la figure 8A représente une fonction cosinussoïde à différentes phases en fonction d'une variable t/T où T est la période de la fonction,
- la figure 8B représente la détermination de l'état de logique floue associé ponctuellement à une valeur de la variable t/T par application pour l'ensemble des valeurs appartenant au segment $[t/T, t/T+p]$ d'une combinaison logique entre les états binaires obtenus à partir du signe de la fonction cosinussoïde,
- la figure 8C représente les variations des états de logique floue qui sont déterminés pour chaque valeur de la variable t/T par application pour l'ensemble des valeurs appartenant au segment $[t/T, t/T+p]$ d'une combinaison logique entre les états binaires obtenus à partir du signe de la fonction cosinussoïde,
- les figures 9A à 9C représentent respectivement les probabilités de tirage de l'état flou « 1 », de l'état flou « 0 » et de l'état flou « ? », en fonction de la fréquence f associée à une cosinussoïde et en fonction de la taille p des segments,

- la figure 10 représente les variations de la fonction $f(t/Te)$ qui est obtenue par interpolation des valeurs prises par les échantillons f_n du fichier texte «*Le lièvre*» (la courbe en traits pointillés représente la contribution de l'échantillon f_4 à la construction de la courbe $f(t/Te)$),
- 5 - la figure 11 représente les probabilités de tirage de l'état flou « 1 » (ou encore de l'état flou « 0 »), en fonction de la fréquence f , avec un rapport d'index de 3,
- les figures 12A et 12B représentent les probabilités de tirage de l'état flou « 1 » (ou encore de l'état flou « 0 »), en fonction de la fréquence f , avec des rapports d'index respectifs de 2 et de n ($n > 2$),
- 10 - la figure 13 représente schématiquement les différentes étapes d'échantillonnage et de filtrage mises en œuvre pour obtenir une signature numérique $s_{n/k}$,
- la figure 14 représente les allures, en valeur absolue, de fonctions de filtrage $Filtre(K, f) = \Sigma moy(K, f)$ (intégrant la prise en compte d'une valeur moyenne de K échantillons autour d'un échantillon central), pour quelques valeurs de K , en fonction de f/Fe ,
- 15 - la figure 15 représente les réponses fréquentielles des filtres numériques par défaut ajustés pour un rapport d'index $k = 5$, avec plusieurs valeurs du paramètre interv décrit dans la description ci-après,
- la figure 16A représente les adresses d'échantillons f_n de données auxquelles a été appliqué un échantillonnage, les adresses d'échantillons r_n auxquels a été appliqué un filtrage
- 20 numérique et enfin les adresses de blocs de la signature numérique obtenue par combinaison (« OU » en logique floue des échantillons r_n filtrés),
- la figure 16B représente les conditions de recouvrement des blocs de données associés au calcul des données de signatures numériques par les données d'un extrait EXT à rechercher dans un fichier de données,
- 25 - la figure 17 représente le nombre de comparaisons à effectuer en fonction du rapport d'index k , pour une recherche grossière (Total1), pour une recherche fine ensuite (Total2), et pour l'ensemble des deux recherches (Total3), et, dans l'exemple d'une recherche d'extraits communs de taille minimale de 1000 caractères entre deux fichiers de taille de 100 Koctets,
- 30 - la figure 18 représente un système d'entités informatiques communicantes pour la mise en œuvre d'une application avantageuse de l'invention, à la mise à jour de fichiers informatiques à distance,

- la figure 19A représente une copie d'écran d'une boîte de dialogue dans le cadre d'une interface homme machine d'un programme informatique au sens de l'invention, pour une recherche d'extraits communs entre deux fichiers textes,
- la figure 19B représente une copie d'écran indiquant l'évolution de la recherche,
- 5 - la figure 19C représente une copie d'écran pour une recherche d'extraits communs entre deux fichiers audio,
- la figure 19D représente une copie d'écran pour la création de fichier de signature numérique élaboré à partir d'un traitement en temps réel de signaux audio.

10 Le procédé au sens de l'invention consiste à comparer entre eux des fichiers informatiques afin d'y rechercher tous les extraits communs possibles. L'examen porte directement sur la représentation binaire des données qui constituent les fichiers et, avantageusement, ne nécessite donc pas une connaissance préalable du format des fichiers. D'ailleurs, les fichiers à comparer peuvent être de nature quelconque, comme par exemple des fichiers texte, des

15 fichiers multimédia comportant des sons ou des images, des fichiers de données, ou autres.

Chaque fichier est représenté sous la forme d'un tableau à une dimension dans lequel les données binaires sont rangées avec le même ordre que celui utilisé pour un stockage sur disque. Les données binaires sont des octets (mots de 8 bits). Le tableau est donc de même

20 taille que celle du fichier, en octets. Chaque case du tableau est repérée par une adresse. Selon les conventions utilisées en programmation, l'adresse 0 pointe sur la première case du tableau, l'adresse 1 sur la case suivante, et ainsi de suite.

On entend par « *extrait* », notamment dans la formule « *extrait commun* », ce qui suit. Il s'agit d'une séquence de données consécutives qui est obtenue par recopie des données binaires d'un fichier en partant d'une adresse de début, déterminée. Cette séquence est elle même

25 représentée sous la forme d'un tableau de données binaires auquel on associe une adresse de début qui permet de repérer l'extrait dans le fichier d'origine. On indique que les données binaires sont des octets (mots de 8 bits). Chaque donnée est représentée par le nombre entier (compris entre 0 et 255) qui est obtenu par addition en base 2 des bits de l'octet :

$$B_0 + 2^1B_1 + \dots + 2^7B_7$$

30 Le tableau a donc bien la même taille que celle de l'extrait (en octets). Cette taille d'extrait peut être comprise entre 1 et celle du fichier.

Dans l'exemple d'un document stocké dans un fichier en format texte, un extrait pourra être par exemple un mot, une phrase ou une page de texte.

Pour le procédé au sens de l'invention, on entend par « *extrait commun à deux fichiers* » ce qui suit. Il s'agit d'une séquence de données consécutives dont le contenu est fixe et qui peut être obtenue soit par recopie des données binaires du premier fichier en partant d'une adresse de début déterminée, soit par recopie des données binaires du deuxième fichier en partant d'une autre adresse de début déterminée. En d'autres termes, si l'on prélève sur chaque fichier un extrait à partir des positions de début repérées, la condition d'extrait commun sera atteinte si il y a identité parfaite des contenus portés par la première donnée binaire de chaque extrait, puis de ceux portés par la donnée binaire suivante, et ainsi de suite. Typiquement, dans le cas de fichiers en format texte, chaque octet porte le code ASCII d'un caractère imprimable (alphabet latin, chiffre, ponctuation, et autres). L'identité parfaite des contenus de deux octets équivaut donc à une identité parfaite des caractères codés par ces octets. Tout extrait commun trouvé est repéré par un couple d'adresses de début (une par fichier) et par une taille exprimée en nombre d'octets.

On décrit ci-après un exemple d'extrait pris sur un fichier texte court. Le texte choisi est « *Le lièvre et la tortue* ». Sa représentation sous la forme de fichier en mode texte est représentée à titre d'exemple sur le tableau ci-après. La taille du fichier est de 22 octets. Les données binaires (octets) portent les codes ASCII qui sont associés à chaque caractère du texte et sont affichées en mode entier.

Caractère du texte	L	e		l	i	à	v	r	e		e
Nombre entier du code ASCII	76	101	32	108	105	232	118	114	101	32	101
Adresse des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Caractère du texte	t		l	a		t	o	r	t	u	e
Nombre entier du code ASCII	116	32	108	97	32	116	111	114	116	117	101
Adresse des données	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

L'extrait « *lièvre* » se trouve dans le fichier. Sa représentation sous la forme d'un tableau de données est sur le tableau suivant. Il occupe 6 données binaires. Sa position de début dans le fichier est l'adresse 3.

Caractère de l'extrait	l	i	e	v	r	e
Nombre entier du code ASCII	108	105	232	118	114	101
Adresse des données	0	1	2	3	4	5

On décrit maintenant un exemple d'extraits communs à deux fichiers texte courts. Les textes choisis sont «*Le lièvre*» et «*La tortue*». Les représentations sous la forme de fichiers en mode texte sont celles du tableau ci-après. La taille de chaque fichier est de 9 octets. Les données binaires (octets) sont affichées en mode entier.

5

Caractère du 1 ^{er} texte	L	e		l	i	è	v	r	e
Nombre entier du code ASCII	76	101	32	108	105	232	118	114	101
Adresse des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Caractère du 2 ^{ème} texte	L	a		t	o	r	t	u	e
Nombre entier du code ASCII	76	97	32	116	111	114	116	117	101
Adresse des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Il y a donc cinq extraits communs aux fichiers. Ils sont présentés par ordre croissant d'adresses de début sur le premier fichier :

10

«L»: position (0, 0) et taille 1

«e»: position (1, 8) et taille 1

« »: position (2, 2) et taille 1 (caractère « *espace* »)

«r»: position (7, 5) et taille 1

«e»: position (8, 8) et taille 1

15

On indique que les caractères «L» et «l» sont distincts car les valeurs de leurs codes ASCII sont différentes.

Afin d'éviter une profusion des résultats de recherche, on utilise comme critère de sélection une valeur de la taille minimale des extraits communs à trouver. On comprend facilement que la probabilité de trouver des extraits diminue quand la taille des extraits à rechercher augmente. En conséquence, si l'on compare deux fichiers entre eux, le nombre d'extraits communs trouvés diminuera quand on augmente la taille minimale des extraits à trouver.

20

Dans le même but, on essaye par ailleurs d'éliminer les résultats de recherche qui se recouvrent entre eux. Ce traitement est conseillé mais n'est pas indispensable. Sa mise en œuvre complète nécessite en effet de mémoriser l'ensemble des résultats de recherche afin de pouvoir en éliminer ceux qui sont recouverts par d'autres résultats de recherche.

25

On décrit ci-après un autre exemple d'extraits communs à deux fichiers texte courts. Les textes choisis sont «*Un mouton*» et «*Des moutons*». La taille minimale des extraits communs recherchés est de 6 octets. Les données binaires (octets) sont affichées en mode entier.

Les représentations sous la forme de fichiers en mode texte sont sur le tableau ci-après.

Caractère du 1 ^{er} texte	U	n		m	o	u	r	o	n		
Nombre entier du code ASCII	85	110	32	109	111	117	116	111	110		
Adresse des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8		

Caractère du 2 ^{ème} texte	D	e	s		m	o	u	r	o	n	s
Nombre entier du code ASCII	68	101	115	32	109	111	117	116	111	110	115
Adresse des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- 5 On trouve un extrait commun aux fichiers: « mouton » à la position (2, 3) et de taille 7.
Comme indiqué ci-avant, le caractère « » (espace) est traité comme une donnée. Deux extraits communs de taille 6 sont éliminés des résultats de recherche car ils sont recouverts par l'extrait « mouton » de plus grande taille (7). Il s'agit de :

« mouto »: position (2, 3) et taille 6

- 10 «mouton »: position (3, 4) et taille 6

Ces principes de base étant définis, on décrit maintenant un algorithme de recherche dit « classique » et utilisant lesdits principes. Globalement, la stratégie de recherche mise en œuvre est d'examiner tous les couples possibles de positions de début que peut prendre un
15 extrait commun sur les deux fichiers à comparer. On définit par le terme « classique » l'algorithme décrit ici. Toutefois, cette définition n'entend pas nécessairement qu'il puisse se retrouver dans l'état de la technique. Il faut simplement comprendre que l'algorithme au sens de la présente invention effectue des opérations supplémentaires, notamment d'élaboration de signatures numériques, qui seront décrites plus loin.

20 Pour chaque valeur de couple de positions de début (une position de début par fichier), une comparaison est effectuée entre les extraits qui peuvent être prélevés sur chaque fichier. Cette comparaison indique si la condition d'extrait commun est atteinte et détermine la taille maximale de l'extrait commun trouvé pour le couple de positions de début considéré. Le cas échéant, cette taille est enfin comparée à la valeur de la taille minimale des extraits communs à
25 trouver.

Pour tout couple de positions de début sur les fichiers, une même succession d'étapes est utilisée pour identifier l'existence d'un extrait commun. Les couples de positions de début sont testés avec l'ordre prédéfini suivant :

- début de l'analyse avec le couple de positions de début (0,0),

- ordre croissant des positions de début sur le premier fichier, et ordre croissant des positions de début sur le deuxième fichier pour tous les couples ayant la même position de début sur le premier fichier,
- fin d'analyse pour le couple de positions (dernière donnée du premier fichier, dernière donnée du deuxième fichier),
- le couple (n,m) repère finalement la position de début n sur le premier fichier et la position de début m sur le deuxième fichier.

Dans le cas où la recherche a été arrêtée pour afficher un extrait commun trouvé à la position (n, m), la recherche d'autres extraits communs reprend à partir du couple de positions de début suivant :

- (n, m+1) dans le cas général, ou
- (n+1, 0) dans le cas particulier où la position m+1 dépasse la dernière donnée du 2ème fichier et où la position n+1 ne dépasse pas la dernière donnée du premier fichier.

En se référant à la figure 1, on fixe ainsi un couple de position de début d'extrait à tester sur les deux fichiers (étape 11). On compare ensuite les premières données de chaque extrait (étape 12). En cas d'identité, on poursuit la comparaison avec les données suivantes de chaque extrait (étape 13). Sinon (dans le cas où aucun extrait commun n'est trouvé), les comparaisons s'arrêtent (étape 14). On réitère les mêmes étapes pour les deuxièmes données de chaque extrait (étapes 15, 16 et 17), et ce, jusqu'aux nièmes données (étapes 18, 19 et 20). Par exemple, la comparaison peut se terminer si la taille d'extrait est atteinte pour la valeur n (étape 21).

On décrit ci-après une représentation bidimensionnelle utilisant un tableau représenté en figure 2A.

L'axe vertical A1 porte les adresses des données du premier fichier. L'axe horizontal A2 porte les adresses des données du second fichier. Chaque case (m,n) du tableau représente un couple de position de début à évaluer pour rechercher un extrait commun.

Pour l'exemple, la taille du premier fichier vaut 6 (adresses 0 à 5) et celle du second fichier vaut 10 (adresses 0 à 9). Les flèches F dans le tableau indiquent le sens de déplacement qui est utilisé pour tester l'ensemble des couples possibles de positions de début d'extraits communs à trouver.

L'exemple représenté sur la figure 2B porte sur la recherche d'extraits communs de taille minimum 6 entre les textes «Un mouton» et «Des moutons». L'axe vertical A1 porte les adresses des données du premier fichier («Un mouton»). L'axe horizontal A2 porte les

adresses des données du second fichier («*Des moutons*»). Les cases grisées indiquent l'extrait commun trouvé «*mouton*» de taille 7 (incluant l'espace précédant le mot), commençant par le couple de positions de début (2,3)

Comme les outils de programmation informatique imposent des contraintes sur la taille des tableaux de données pouvant être utilisés dans des programmes, un programme informatique reprenant cet algorithme procède préférentiellement à une découpe préalable des fichiers en blocs de données consécutifs de taille réduite (la découpe tient compte des recouvrements nécessaires entre blocs permettant de garantir le test de l'ensemble des couples de positions de début d'extraits communs à rechercher). L'algorithme est ensuite appliqué sur l'ensemble des combinaisons possibles de couples de blocs de données. L'ordre de comparaison des couples de blocs de données est analogue à celui décrit précédemment, à savoir par les couples de positions de début d'extraits. Mais, simplement ici, la comparaison porte sur des blocs de données plutôt que de porter sur des données isolées. Typiquement, le premier bloc du premier fichier est comparé au premier bloc du deuxième fichier, puis aux blocs suivants du deuxième fichier. Le bloc suivant du premier fichier est comparé ensuite au premier bloc du deuxième fichier, puis aux blocs suivants du deuxième fichier, ..., et ainsi de suite jusqu'à atteindre le dernier bloc de chaque fichier.

En termes de performances, le temps d'exécution du programme moteur de recherche en mode «*plein texte*» (c'est-à-dire par analyse de l'intégralité du contenu des fichiers) dépend essentiellement du nombre de comparaisons à effectuer entre données. Ce paramètre est le plus important mais n'est pas le seul car il faut tenir compte aussi de la vitesse de transfert des données entre disque et mémoire vive (RAM), puis entre mémoire RAM et microprocesseur. Le nombre minimum de comparaisons à effectuer entre données pour accomplir la recherche d'un extrait commun de taille 1 est égal au produit :

(taille du premier fichier) x (taille du second fichier)

Pour la recherche d'extraits communs de taille minimum n , on optimise l'algorithme de recherche pour éliminer les positions de fin de fichier des couples possibles de positions de début à analyser. Dans ce cas, le nombre minimum de comparaisons entre données à effectuer est ramené au produit :

(taille du premier fichier - $n + 1$) x (taille du second fichier - $n + 1$)

Pour des fichiers de grande taille, la valeur de ce nombre reste proche de celle du produit des tailles des fichiers.

Le programme selon l'algorithme de recherche classique utilise cette valeur pour estimer la durée totale et la vitesse de recherche par interpolation du nombre de couples de positions de début déjà testé et du temps de recherche écoulé.

On décrit maintenant l'algorithme de recherche d'extraits communs au sens de la présente invention.

Globalement, on cherche à améliorer les performances de recherche en réduisant le nombre d'opérations de comparaisons à effectuer entre données par rapport à l'algorithme classique.

La démarche retenue ici est d'effectuer les recherches en deux passes. Une recherche grossière sur les fichiers qui élimine rapidement des portions de fichier qui ne comportent pas d'extraits communs. Une recherche fine sur les portions de fichier restantes en utilisant un algorithme voisin de l'algorithme classique décrit ci-avant. Toutefois, comme on le verra plus loin dans certains cas de fichiers, la deuxième passe n'est pas toujours nécessaire et s'utilise préférentiellement pour des fichiers de textes à comparer.

Pour la recherche grossière, l'algorithme au sens de l'invention met en œuvre un calcul avantageux de signatures numériques sur les fichiers à comparer. Les « *signatures numériques* » peuvent être assimilées à des fichiers ou à des tableaux de données dont la taille est inférieure à celle des fichiers desquels ces signatures sont issues.

Les signatures numériques ont la propriété de pouvoir être utilisées comme index des fichiers qui leur sont associés. En outre, une relation mathématique permet de mettre en correspondance un extrait quelconque d'une signature numérique avec une portion précise du fichier qui lui est associé. De plus, la position de début d'un extrait de signature numérique est en correspondance avec un nombre fixe de positions de début d'extraits sur le fichier qui est associé à la signature numérique. Inversement, à partir d'une certaine taille d'extrait, tout extrait de données pris sur un fichier peut être associé à un extrait de la signature numérique.

Les signatures numériques ont aussi la propriété de pouvoir être comparées entre elles pour identifier des extraits communs de signatures.

On indique toutefois que la définition des extraits communs de signatures numériques et les opérations mathématiques utilisées pour effectuer les comparaisons de signatures numériques sont différentes de celles qui ont été décrites ci-avant pour la recherche d'extraits communs à des fichiers. Les propriétés d'index des signatures numériques sont exploitées pour interpréter les résultats de recherche d'extraits communs de signatures. En effet, pour un couple de positions de début déterminé (une par signature numérique), l'absence d'extrait commun se traduit mathématiquement par une absence d'extrait commun entre deux portions de fichier

(une portion par fichier associé à chaque signature numérique). A l'inverse, un extrait commun trouvé entre deux signatures numériques se traduit par l'existence possible d'un extrait commun entre deux portions de fichiers (une portion par fichier associé à chaque signature).

La recherche des extraits communs entre fichiers n'est effectuée que sur les portions de fichier
5 qui sont repérées par les résultats positifs de recherche d'extraits communs de signatures numériques. Tout extrait commun de signatures numériques est repéré par un couple de positions de début dans chaque signature, et chaque position de début de signature est en correspondance avec une portion de fichier délimitée par à un nombre fixe entier (N) de positions de début dans le fichier. Chaque extrait commun de signatures numériques trouvé se
10 traduit donc par une recherche d'extrait commun entre fichiers sur un jeu réduit de (N x N) couples de positions de début à tester. A l'inverse, chaque couple de positions de début qui est caractérisé par une absence d'extrait commun de signatures numériques se traduit par une économie de recherche d'extrait commun entre fichiers sur un jeu de (N x N) couples de positions de début à tester.

15 Le calcul des signatures numériques conditionne la valeur de taille minimale des extraits communs à trouver entre fichiers. Le nombre fixe (N) de positions de début d'extrait sur le fichier en correspondance avec chaque donnée de signature numérique est un paramètre ajustable du traitement de calcul des signatures numériques.

La valeur de la taille minimale des extraits communs de fichiers qui peuvent être trouvés avec
20 l'algorithme de recherche grossière est déterminée à partir de ce nombre au moyen d'une formule mathématique que l'on décrira en détail ci-après. Cette valeur augmente quant celle du nombre fixe N de positions augmente. Ci-après, on désigne ce nombre N par le terme « rapport d'index ».

On verra plus loin et en détail que l'algorithme de recherche d'extraits communs de signatures
25 numériques a quelques similitudes avec l'algorithme de recherche classique d'extraits communs à des fichiers.

On indique simplement ici que la stratégie de recherche mise en œuvre est d'examiner tous les couples possibles de positions de début que peut prendre un extrait commun sur les deux signatures numériques à comparer. La taille minimale de l'extrait commun de signatures
30 numériques à trouver est déterminée au moyen d'une formule mathématique que l'on décrira plus loin, à partir de la valeur du rapport d'index et de la taille minimale des extraits communs de fichiers à trouver.

Pour chaque valeur de couple de positions de début (une position de début par signature numérique), une comparaison est effectuée entre les extraits qui peuvent être prélevés sur chaque signature numérique.

Ainsi, globalement, l'algorithme au sens de l'invention enchaîne les étapes de recherche suivantes :

- Une recherche grossière entre fichiers, avec calcul d'une signature numérique par fichier à comparer et une comparaison des signatures numériques à la recherche d'extraits communs de signatures numériques, et
- Une recherche fine entre fichiers pour chaque extrait commun trouvé de signatures numériques, avec une mise en œuvre de l'algorithme classique pour rechercher des extraits communs dans les portions de fichiers qui sont en correspondance avec les extraits communs de signatures numériques.

On décrit maintenant le principe de l'algorithme au sens de l'invention, de façon plus détaillée.

En se référant à la figure 3, le fichier de données DATA est découpé en blocs consécutifs BLO de données dont la taille est égale à celle du rapport d'index. Globalement, le calcul de signature numérique associe une donnée de signature à chaque bloc de données du fichier. Dans l'illustration de la figure 3, le rapport d'index vaut 4.

On a représenté sur les figures 4A et 4B des tableaux bidimensionnels d'une recherche d'extraits communs de taille minimale 6 entre les fichiers texte «*Un mouton*» et «*Des moutons*». Dans cet exemple, le rapport d'index vaut 2. La signature numérique du premier fichier comprend 5 données. La signature numérique du second fichier comprend 6 données. Les parties grisées de la figure 4A représentent des extraits communs de signatures numériques ECS entre les deux fichiers (par exemple la référence 41). Typiquement, en se référant à la figure 4B, cette référence 41 correspond à une zone de recherche réduite de 4 (2x2) couples de positions de début d'extrait à tester sur les fichiers. Cette zone de recherche réduite est associée au couple (1,1) de positions de début d'extrait commun de signatures numériques.

On décrit maintenant de façon détaillée des opérations de calcul et de comparaison des signatures numériques.

Le calcul des données de signatures numériques utilise une théorie mathématique de logique floue.

Habituellement, la logique binaire utilise un bit de données pour coder 2 états logiques. Le code 0 est associé à l'état «faux», tandis que le code 1 est associé à l'état «vrai».

La logique binaire dispose d'un jeu d'opérations logiques de comparaison entre états binaires, comme représenté sur les tables de vérité des figures 5A et 5B.

5 Une donnée de 8 bits (un octet) peut stocker 8 états binaires indépendants.

Comparativement à la logique binaire, la logique floue utilise deux états supplémentaires qui sont l'état indéterminé « ? » (à la fois vrai et à la fois faux) et l'état interdit « X » (ni vrai et ni faux).

10 Les 4 états de logique floue sont codés sur 2 bits, comme représenté sur la figure 5C, où les références B0 et B1 représentent donc un codage des états sur 2 bits (axe horizontal), tandis que l'axe vertical représente les différents états de logique floue « 0 », « 1 », « ? » et « X ».

Une donnée de 8 bits (un octet) peut stocker ainsi 4 états flous indépendants.

15 La logique floue dispose d'un jeu d'opérations logiques de comparaison entre états flous tels que représentés sur les figures 5D et 5E, respectivement pour le « OU » en logique floue et le « ET » en logique floue. Le résultat de ces opérations est simplement obtenu en appliquant une comparaison binaire OU ou ET à chaque bit de codage des composantes binaires des états flous.

20 On indique que, dans le contexte de l'invention, le calcul de signatures numériques utilise l'opération OU pour déterminer un état flou commun à un bloc de données consécutives du fichier associé à la signature. Au départ, un état binaire (0 ou 1) est associé à chaque adresse de donnée, dans un bloc de données du fichier. La taille du bloc de données est égale au rapport d'index, comme indiqué ci-avant. Les états binaires sont ensuite comparés entre eux pour déterminer l'état-flou « 0 », « 1 » ou « ? » d'une donnée de la signature numérique. On associe 25 ensuite une donnée de signature numérique au bloc de données du fichier.

Ensuite, la comparaison des signatures numériques, proprement dite, utilise l'opération ET pour déterminer s'il y a ou non possibilité d'avoir un extrait commun aux fichiers. Les décisions sont donc prises en fonction de l'état de logique floue qui est pris par le résultat de l'opération ET appliquée à des couples de données de signatures numériques.

30

L'état interdit X signifie qu'il n'y a pas d'extrait commun entre les fichiers dans les zones de données qui sont associées au couple courant de positions de début d'extrait commun de signatures numériques (avec un bloc par donnée de signature numérique). On décrira ce cas en

détail plus loin. Les états « 0 », « 1 » ou « ? » signifient inversement qu'il y a possibilité d'extrait commun entre les fichiers dans les zones de données qui sont associées au couple courant de positions de début d'extrait commun de signatures numériques.

- 5 En se référant aux figures 6A et 6B, les signatures numériques sont calculées en deux étapes :
- Une étape de calcul d'une signature binaire en associant un état binaire à chaque adresse de donnée du fichier. Les lois de calcul utilisées permettent d'associer à rebours un extrait de fichier de taille fixe à chaque état binaire, et
 - Une étape de calcul d'une signature floue par comparaison entre eux des états de la
- 10 signature binaire sur des blocs de taille égale à celui du rapport d'index. Chaque bloc de N états binaires consécutifs détermine un état flou.

Dans l'exemple des figures 6A et 6B, le rapport d'index N vaut 2. Sur la figure 6A, la référence Add identifie les adresses respectives des données du fichier FIC et la référence Valb identifie les états binaires associés respectivement aux adresses de ces données. Sur la figure

15 6B, la même référence Valb identifie les états binaires associés respectivement aux mêmes adresses des données et la référence Valf identifie les états en logique floue associés aux données de la signature numérique SN tirée du fichier FIC. On compte un état de logique floue par bloc de N adresses, où N est le rapport d'index (ici N=2). La succession « ? », « 0 », « ? », ... des états de logique floue Valb de la figure 6B s'interprète typiquement ainsi :

- 20 - les états binaires « 0 » et « 1 » des deux premières adresses du fichier étant différents, l'opération OU en logique floue appliquée à ces états donne « ? »,
- les états binaires « 0 » et « 0 » des troisième et quatrième adresses du fichier étant égaux à « 0 », l'opération OU en logique floue appliquée à ces états donne « 0 »,
- les états binaires « 1 » et « 0 » des cinquième et sixième adresses du fichier étant
- 25 différents, l'opération OU en logique floue appliquée à ces états donne encore « ? », etc.

On décrit ci-après des exemples de calcul de signatures numériques, avec un texte choisi «*La tortue*». Chaque caractère du texte est codé sur un octet avec emploi du code ASCII. Chaque code ASCII est représenté par la valeur du nombre entier qui est codé par les 8 bits de l'octet. Ce nombre est compris entre 0 et 255. Les états binaires qui sont associés à chaque adresse de

30 donnée sont déterminés, à titre d'exemple par une loi du type :

- état 0 si la valeur entière du code ASCII du caractère est strictement inférieure à 111,
- et état 1 si la valeur entière du code ASCII du caractère est supérieure ou égale à 111.

Le tableau de la figure 7A montre les résultats qui sont obtenus pour le calcul des états flous de signature numérique avec différentes valeurs de rapport d'index, de 2 à 4, pour le fichier texte «*La tortue*».

5 La figure 7B montre maintenant les résultats obtenus pour le calcul des états flous de signature numérique avec une valeur de rapport d'index de 2, sur les deux fichiers textes «*Le lièvre*» et «*La tortue*». L'adresse de la donnée est celle de la position de début de l'extrait. La loi de détermination des états binaires est celle décrite ci-avant (valeur ASCII comparée à 111).

10 Sur la figure 7C, on a représenté un tableau bidimensionnel d'une recherche d'extraits communs entre les fichiers texte «*Le lièvre*» et «*La tortue*», avec un rapport d'index de 2. La loi de détermination des états binaires qui sont associés à chaque adresse de données est identique à celle énoncée ci-avant (valeurs ASCII à comparer à 111). On a référencé par les sigles AD1 et AD2 les adresses de blocs respectifs tirés du fichier «*Le lièvre*» et du fichier «*La tortue*» et par les sigles SN1 et SN2 les états successifs en logique floue de ces blocs respectifs. Les cases non grisées indiquent les situations pour lesquelles il n'y a pas d'extrait
15 commun de taille 1 entre les portions de fichier qui sont associées aux données de signatures numériques. Les cases grisées indiquent au contraire les situations pour lesquelles il peut y avoir un extrait commun de taille minimale 1 entre les portions de fichier qui sont associées aux données de signatures numériques.

20 On décrit ci-après les lois mathématiques utilisées pour le calcul des signatures numériques, dans une réalisation préférée. La description qui suit complète la première étape de calcul précitée d'une signature binaire de l'algorithme de recherche au sens de l'invention et décrit les lois mathématiques qui sont utilisées pour déterminer les états binaires qui sont associés à chaque adresse de donnée du fichier. Dans les exemples qui précèdent, chaque état binaire de
25 signature numérique est déterminé par une loi simple qui repose sur la comparaison de la valeur entière du code de chaque octet du fichier avec une valeur entière de référence. L'intérêt de cette loi est limité toutefois, car chaque donnée de signature binaire ne caractérise à la fois qu'une seule donnée de fichier. L'interprétation du résultat des comparaisons entre données de signatures floues (qui sont obtenues à la seconde étape du calcul) se limite ainsi à l'existence
30 possible d'extraits communs aux fichiers de taille 1. L'absence ou l'existence possible d'un extrait commun aux fichiers de taille supérieure à 1 ne peut être détectée par une seule opération de comparaison entre données de signature floue. Pour remédier à cette situation, les lois mathématiques de détermination des états de la signature binaire sont choisies de manière

à ce que chaque donnée de signature binaire caractérise un extrait de taille préférentiellement fixe du fichier. La taille des extraits de données est un paramètre de la loi mathématique de détermination des états de la signature binaire. La valeur de ce paramètre est toujours supérieure ou égale à celle du rapport d'index. Grâce à cette condition, le résultat d'une

5 comparaison entre un couple de données de signatures floues peut s'interpréter soit par l'absence soit par l'existence possible d'un extrait commun de fichier de taille au moins égale au rapport d'index (N) parmi le jeu (NxN) de couples de positions de début d'extrait commun de fichier qui est associé au couple de données de signatures floues.

De même, un extrait commun trouvé de taille K entre signatures numériques s'interprète par

10 l'existence possible d'un extrait commun de fichier de taille au moins égale à NxK parmi le jeu (NxN) de couples de positions de début d'extrait commun de fichier qui est associé au couple de positions de début de l'extrait commun trouvé de signatures numériques.

On comprendra aussi que la proportion d'états flous « ? » augmente quand la taille du rapport d'index augmente. En conséquence, l'étape de recherche d'extraits communs entre signatures

15 numériques devient beaucoup moins sélective lorsque le rapport d'index augmente. En effet, si les données d'une signature numérique sont toutes égales à l'état « ? », la comparaison de cette signature avec une autre signature numérique n'éliminera aucun couple de positions de début d'extrait à rechercher sur les fichiers qui sont associés aux signatures. Pour remédier à cette situation, la loi de détermination des états binaires doit être choisie de manière à ce que l'étape

20 de calcul des états flous (par comparaison de blocs d'états binaires) génère une faible proportion d'états « ? » et inversement une proportion élevée d'états « 0 » ou « 1 ».

On décrit ci-après un traitement pour améliorer la sélectivité des signatures numériques. Les explications qui suivent utilisent des résultats de théories mathématiques des domaines de l'algèbre des transformations et du traitement numérique de signaux.

25 On rappelle que la transformation de Fourier est une transformation mathématique qui fait correspondre à une fonction f(t) de la variable t une autre fonction F(f) de la variable f selon la formule suivante :

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-2i\pi ft} dt$$

Une propriété de la transformation de Fourier est la réciprocité, permettant d'obtenir à rebours

30 la fonction f(t) à partir de F(f) par la formule suivante :

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) e^{2i\pi ft} df$$

Cette formule indique que toute fonction réelle $f(t)$ peut se décomposer en une somme infinie de fonctions cosinusoides pures de fréquence f , d'amplitude $2 \cdot |F(f)|$ et de phase $\varphi(f)$.

$$f(t) = \int_0^{+\infty} 2 |F(f)| \cos(2\pi f t + \varphi(f)) df \quad \text{avec } F(f) = |F(f)| e^{i\pi\varphi(f)}$$

Les variations de la fonction $\cos(2\pi f t + \varphi)$ sont représentées sur la figure 8A pour diverses valeurs de la phase φ . La fonction est périodique et sa période T est égale à $1/f$. Elle est positive sur des intervalles de taille $T/2$ et négative sur des intervalles complémentaires de taille $T/2$.

Cette dernière propriété va être mise à profit pour le choix des lois de détermination des signatures binaires. On associe à la fonction $s(t) = \cos(2\pi f t + \varphi)$ une loi $\text{Etat}_s(t,p)$ de détermination d'états flous à deux variables. On note $T = 1/f$.

La loi $\text{Etat}_s(t,p)$ est définie pour toute valeur réelle de t et pour toute valeur réelle positive du paramètre p (à rapprocher du rapport d'index précité) :

$$\text{Etat}_s(t,p) = 1 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], s(x) > 0$$

$$\text{Etat}_s(t,p) = 0 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], s(x) < 0$$

$$\text{Etat}_s(t,p) = ? \text{ sinon}$$

Sur la figure 8B, on a représenté une fonction cosinusoidale où p est voisin de $0,6 \cdot T$. Pour tout intervalle $[t, t+p]$, la fonction $s(t)$ prend à la fois des valeurs positives et négatives, de sorte que $\text{Etat}_s(t,p) = ?$. Ainsi, si le paramètre p est plus grand que $T/2$, on aura « $\text{Etat}_s(t,p) = ?$ », pour tout t .

On a représenté sur la figure 8C les états flous de la loi $\text{Etat}_s(t,p)$ pour des valeurs fixes de p comprises maintenant entre 0 et $T/2$ ($p=0,3T$ dans l'exemple représenté). Les probabilités de tirage des états flous sont obtenues en relevant sur un intervalle de taille égale à la période T ($T = 1/f$) la taille cumulée des intervalles de la variable t qui produisent chaque état flou possible (0, 1 ou ?), puis en divisant cette taille cumulée par T .

Ci-après, les notations suivantes sont utilisées :

Probabilité de tirage de l'état 1: $P1(f,p)$

Probabilité de tirage de l'état 0: $P0(f,p)$

Probabilité de tirage de l'état ? : $P?(f,p)$

On obtient les résultats suivants pour la loi $\text{Etat}_s(t,p)$:

Pour $p \in [0, T/2]$

$$P1(f,p) = P0(f,p) = (T/2 - p)/T = 1/2 - p/T = 1/2 - pf$$

$$P?(f,p) = 1 - P1(f,p) - P0(f,p) = 2pf$$

Pour p plus grand que T/2

$$P1(f,p) = P0(f,p) = 0$$

$$P?(f,p) = 1$$

5 On rappelle encore que les probabilités de tirage des états flous ont été obtenues après application à la fonction $s(t) = \cos(2\pi ft + \varphi)$ de la loi Etat $s(t,p)$ de détermination d'états flous. On remarquera aussi que la probabilité de tirage des états flous ne dépend pas de la phase φ de la fonction $s(t) = \cos(2\pi ft + \varphi)$.

10 En se référant aux figures 9A, 9B et 9C, la représentation graphique des variations des probabilités $P1(f,p)$, $P0(f,p)$ et $P?(f,p)$ en fonction de la fréquence montre que la probabilité de tirage des états 1 et 0 croît quand la fréquence f diminue. Inversement, la probabilité de tirage de l'état « ? » croît quand la fréquence f augmente.

On va chercher maintenant à appliquer cette observation à la comparaison de données binaires au sens de l'invention.

15 L'échantillonnage d'une fonction $f(t)$ de la variable t consiste à relever les valeurs qui sont prises par cette fonction à des instants T_n qui sont espacés entre eux d'un intervalle fixe T_e .

Les notations suivantes sont utilisées :

n numéro d'échantillon (entier compris entre $-\infty$ et $+\infty$)

T_n instant de l'échantillon n : $T_n = n.T_e$

20 f_n valeur de l'échantillon n : $f_n = f(T_n)$

Dans la théorie du traitement du signal, le théorème de Shannon montre que l'original d'une fonction $f(t)$ peut être obtenu à rebours à partir des échantillons f_n si le spectre fréquentiel de la transformée de Fourier $F(f)$ associée à $f(t)$ est strictement borné par l'intervalle $[-F_e/2, F_e/2]$, avec $F_e = 1/T_e$.

25 Dans cette condition, la fonction $f(t)$ est obtenue après application d'un filtrage passe-bas idéal dans la bande de fréquence $[-F_e/2, F_e/2]$ sur la transformée de Fourier du signal échantillonné $F(f)$.

Pour la suite, on considère que les fichiers de données présentent des échantillons f_n d'une fonction $f(t)$ qui satisfait aux conditions précédentes. En particulier, chaque adresse de donnée correspond à un numéro d'échantillon n . Chaque donnée stocke la valeur d'un échantillon (typiquement un entier codé sur les bits d'un octet).

30

La transformée de Fourier du signal associé aux échantillons f_n d'un fichier de données est la suivante :

$$\hat{F}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(t) e^{-2i\pi t} dt, \quad \text{avec } \hat{f}(t) = f_n \text{ pour } t = T_n \text{ et } \hat{f}(t) = 0 \text{ pour } t \neq T_n \quad (\text{où } T_n = nTe)$$

On notera que le choix de la période d'échantillonnage Te est libre ici.

- 5 La transformée de Fourier s'exprime aussi dans ce cas par la formule simplifiée suivante :

$$\hat{F}(f) = \sum_{n=0}^{n=N} f_n e^{-2i\pi f T_n} \quad \text{avec } N+1 = \text{taille du fichier de données}$$

La transformée de Fourier $F(f)$ de l'original de la fonction $f(t)$ qui est associée aux échantillons f_n s'obtient par application du théorème de Shannon :

$$F(f) = \hat{F}(f)/Te \quad \text{pour } f \in [-Fe/2, Fe/2]$$

- 10 $F(f) = 0$ pour les autres valeurs de f

La fonction $f(t)$ qui est associée aux échantillons f_n est obtenue par application de la transformée inverse de Fourier.

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) e^{2i\pi f t} df = \int_{-Fe/2}^{Fe/2} (\hat{F}(f)/Te) e^{2i\pi f t} df \\ &= \int_{-Fe/2}^{Fe/2} \left(\sum_{n=0}^{n=N} (f_n / Te) e^{-2i\pi f T_n} \right) e^{2i\pi f t} df \\ &= \sum_{n=0}^{n=N} (f_n / Te) \int_{-Fe/2}^{Fe/2} e^{2i\pi f (t - nTe)} df = \sum_{n=0}^{n=N} f_n \left[\frac{e^{2i\pi f (t - nTe)}}{2i\pi (t - nTe)} \right]_{-Fe/2}^{Fe/2} \end{aligned}$$

- 15 et s'exprime finalement sous la forme d'une somme finie de termes en :

$$f(x) = \sin(x)/x, \quad \text{où } x = \pi Fe(t - nTe), \text{ soit :}$$

$$f(t) = \sum_{n=0}^{n=N} f_n \frac{\sin(\pi Fe(t - nTe))}{\pi Fe(t - nTe)} = \sum_{n=0}^{n=N} f_n(t)$$

On a représenté sur la figure 10 un exemple de représentation de la fonction $f(t)$ associée aux données du fichier texte «Le lièvre», en fonction du rapport t/T .

- 20 On indique que les relations précédentes entre une fonction $f(t)$ et un jeu d'échantillons $f_n = f(nTe)$ s'appliquent pour toute fonction qui satisfait aux conditions de Shannon.

Elles s'appliquent donc aussi pour la fonction $s(t) = \cos(2\pi ft + \varphi)$ si l'on vérifie la condition :

$$f \in [-Fe/2, Fe/2]$$

On peut alors représenter $s(t)$ par un jeu infini d'échantillons s_n pris sur $s(t)$ aux instants $t_n = nTe$.

- 5 On rappelle la loi $\text{Etat}_s(t,p)$ précédemment définie pour toute valeur réelle de t et pour toute valeur réelle positive de p :

$$\text{Etat}_s(t,p) = 1 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], s(x) > 0$$

$$\text{Etat}_s(t,p) = 0 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], s(x) < 0$$

$$\text{Etat}_s(t,p) = ? \text{ sinon}$$

- 10 Les propriétés de cette loi peuvent être simplement transposées dans le domaine des échantillons s_n si l'on s'intéresse à la loi suivante de détermination d'état flous définie sur une séquence de k échantillons consécutifs $\{s_n, s_{n+1}, \dots, s_{n+k-1}\}$.

$$\text{Etat}_s(n,k) = 1 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, s_{n+i} > 0$$

$$\text{Etat}_s(n,k) = 0 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, s_{n+i} < 0$$

- 15 $\text{Etat}_s(n,k) = ?$ sinon

Les probabilités de tirage des états flous associés à la loi $\text{Etat}_s(n,k)$ s'obtiennent simplement à partir de la loi $\text{Etat}_s(t,p)$ en remplaçant p par $(k-1)Te$.

On obtient ainsi la représentation graphique des probabilités de tirage des états 1 ou 0 de la loi $\text{Etat}_s(n,k)$ en fonction de la fréquence de la fonction $s(t)$ associée aux échantillons s_n .

- 20 Dans l'exemple de la figure 11, k est fixé à 3. La probabilité de tirage de 3 échantillons consécutifs de $s(t)$ tels que $s(nTe)$, $s((n+1)Te)$, $s((n+2)Te)$ soient supérieurs à 0 est donnée par $P1(f,3)$, laquelle est nulle pour f supérieure à $1/2p$ avec $p = (3-1)Te = 2/Fe$, soit encore pour $f > Fe/4$.

- 25 On va étendre la définition des lois de détermination d'états flous au cas d'une fonction quelconque $f(t)$ qui satisfait aux conditions de Shannon. Dans ce cas général, la loi $\text{Etat}_f(t,p)$ est définie pour toute valeur réelle de t et pour toute valeur réelle positive de p :

$$\text{Etat}_f(t,p) = 1 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], f(x) > 0$$

$$\text{Etat}_f(t,p) = 0 \text{ si } \forall x \in [t, t+p], f(x) < 0$$

$$\text{Etat}_f(t,p) = ? \text{ sinon}$$

- 30 Cette loi de détermination d'états flous est également transposée dans le domaine des échantillons f_n sur des séquences de k échantillons consécutifs $\{f_n, f_{n+1}, \dots, f_{n+k-1}\}$.

$$\text{Etat}_f(n,k) = 1 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, f_{n+i} > 0$$

$$\text{Etat}_f(n,k) = 0 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, f_{n+i} < 0$$

Etat_i(n,k) = ? Sinon

Contrairement au cas particulier déjà traité où $f(t)$ est une sinusoïde pure de fréquence f , il n'y a pas de relation mathématique simple qui permette de calculer ici les probabilités de tirage des états flous à partir de la transformée de Fourier $F(f)$.

5 On peut par contre s'inspirer des propriétés des probabilités de tirage des états flous associés aux lois Etat_s(n,k) et Etat_s(t,p) pour déduire que l'application d'un filtrage passe-bas sur une fonction quelconque $f(t)$ se traduit par l'augmentation des probabilités de tirage des états 0 et 1 et par la diminution de la probabilité de tirage de l'état ? qui sont associés aux lois Etat_i(n,k) et Etat_i(t,p).

10 Dans le cas de la loi Etat_i(n,k), on sait que si la fonction $f(t)$ est une sinusoïde pure de fréquence f , on aura pour $f > Fe/2(k-1)$ et $k > 1$

$$P1(f,k) = P0(f,k) = 0$$

$$P?(f,k) = 1$$

15 Si l'on applique un filtrage passe-bas idéal dans la bande de fréquences $[-Fe/2(k-1), Fe/2(k-1)]$ à une fonction $f(t)$, on comprend que les probabilités de tirage des états 1 et 0 vont augmenter puisque chaque composante fréquentielle $R_k(f)$ du signal résultat $r_k(t)$ contribue au résultat final avec une probabilité individuelle non nulle de tirage pour les états 0 ou 1.

On peut démontrer cette assertion dans le cas d'une fonction de bruit aléatoire $b(t)$ pour laquelle l'amplitude du spectre $B(f)$ est constante dans la bande de fréquences $[-Fe/2, Fe/2]$.

20 Dans le cas d'une fonction de bruit aléatoire $b(t)$, on sait que les probabilités de tirage d'un échantillon sont :

$$P1_b(k=1) = P0_b(k=1) = 1/2$$

$$P?(k=1) = 0$$

Pour 2 échantillons consécutifs, on obtient:

25 $P1_b(k=2) = P0_b(k=2) = (1/2)^2$

$$P?(k=2) = 1 - P1_b - P0_b = 1 - 2 \times (1/2)^2$$

Et pour n échantillons consécutifs, on obtient:

$$P1_b(k=n) = P0_b(k=n) = (1/2)^n$$

$$P?(k=n) = 1 - P1_b - P0_b = 1 - 2 \cdot (1/2)^n$$

30 Ainsi, pour un grand nombre d'échantillons successifs, les probabilités de tirage des états « 0 » et « 1 » tendent vers 0 tandis que la probabilité de tirage de l'état indéterminé « ? » tend vers 1. On considère maintenant une fonction $r_n(t)$ qui est obtenue par application d'un filtrage passe-bas idéal à la fonction $b(t)$ dans la bande de fréquences $[-Fe/2(n-1), Fe/2(n-1)]$. On a alors

observé que la représentation des spectres de $R_n(f)$, de $P1(f,n)$, de $P0(f,n)$ et de $P?(f,n)$ s'obtient par simple homothétie des spectres de $R_2(f)$, de $P1(f,2)$, de $P0(f,2)$ et de $P?(f,2)$, comme le montrent les figures 12A et 12B. On a représenté aussi sur la figure 12A l'amplitude du spectre $B(f)$ associé à la fonction $b(t)$. On a représenté aussi sur la figure 12B l'amplitude du spectre $R_n(f)$ associé à $r_n(t)$.

On en déduit qu'il y a égalité entre les probabilités de tirage de n échantillons consécutifs du signal de bruit filtré $r_n(t)$ et celle de tirage de 2 échantillons consécutifs du signal de bruit non filtré $b(t)$. Les probabilités de tirage d'un état 1 ou d'un état 0 pour n échantillons consécutifs du signal de bruit filtré $r_n(t)$ valent $1/4$, tandis que la probabilité de tirage d'un état « ? » pour n échantillons consécutifs du signal de bruit filtré $r_n(t)$ vaut $1/2$.

En conclusion, on améliore la sélectivité des signatures numériques en appliquant un filtrage passe-bas à la fonction $f(t)$ qui est associée aux échantillons $f_n = f(nTe)$.

Les étapes de traitement et les relations entre données de fichiers, échantillons et fonctions peuvent être résumées comme représenté sur la figure 13. A l'étape 131, on récupère les données d_n d'un fichier à traiter, lesquelles sont échantillonnées à l'étape 132 pour obtenir les échantillons f_n qui sont des nombres entiers codés par les données d_n . Selon le théorème de Shannon (étape 132'), ces échantillons sont associés à une fonction $f(t)$ de spectre $F(f)$ borné et :

$$F(f) = 0 \text{ pour } f \notin [-Fe/2, Fe/2]$$

En appliquant un filtre passe-bas (étape 135') à cette fonction $F(f)$, on obtient la fonction $R(f)$ correspondant à la transformée de Fourier de la fonction $r(t)$ (étape 133') dont les échantillons r_n sont tels que $r_n = r(n.Te) = r(n/Fe)$ selon le théorème de Shannon (étape 133).

En pratique, on appliquera préférentiellement un filtre numérique passe-bas, à l'étape 135, directement aux échantillons f_n pour obtenir les échantillons r_n à l'étape 133. Ce filtre numérique sera décrit en détail plus loin. On applique enfin une loi de détermination d'états flous aux échantillons filtrés r_n pour obtenir les données de signature numérique $s_{n/k} = \text{État } r(n,k)$, sur k échantillons consécutifs $\{r_n, r_{n+1}, \dots, r_{n+k-1}\}$, n étant un multiple de k (étape 134).

Comme indiqué ci-avant, ces étapes de la figure 13 peuvent néanmoins être simplifiées en effectuant directement le calcul des échantillons r_n à partir des échantillons f_n , en utilisant un filtre numérique.

Dans ce qui suit, on adopte les notations suivantes :

Filtre(f) : transformée de Fourier de l'opérateur de filtrage

filtre(t) : fonction associée à Filtre(f) par application de transformée inverse de Fourier

Le théorème de Borel donne la relation :

$$R(f) = \text{Filtre}(f) \times F(f)$$

Cette relation se traduit sur les fonctions $r(t)$, $\text{filtre}(t)$ et $f(t)$ par une formule du type :

$$r(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \times \text{filtre}(t-u) du = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t-u) \times \text{filtre}(u) du$$

5

Si l'on considère les fonctions qui sont associées aux échantillons (et qui respectent les conditions de Shannon), cette relation devient :

$$r_n = r(nT_e) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} f(nT_e - kT_e) \times \text{filtre}(kT_e) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} f_{(n-k)} \times \text{filtre}_k$$

Le filtrage numérique consiste donc à définir un jeu de coefficients filtre_k que l'on va utiliser pour calculer chaque échantillon r_n par application de la formule ci-dessus.

Dans la pratique, on essaye de s'approcher au mieux d'un gabarit prédéfini de filtre en limitant la taille du jeu de coefficients filtre_k . Le compromis à trouver dépend des facteurs suivants :

- La précision du filtre réalisé s'améliore quand le nombre de coefficients du filtre numérique augmente,
- Inversement, la vitesse de calcul des échantillons r_n diminue quand le nombre de coefficients augmente.

Si le nombre de coefficients vaut K , chaque calcul d'échantillon r_n se traduit par K opérations de multiplication et par $(K-1)$ opérations d'addition.

Pour les filtres numériques utilisés par l'algorithme de recherche au sens de l'invention, le critère principal retenu est la vitesse de calcul des échantillons r_n .

Dans une réalisation préférée, le choix porte sur une famille particulière de filtres dits à «*valeur moyenne*» pour lesquels les coefficients du filtre numérique sont identiques, de sorte que :

$$\text{filtre}_k = \text{Cte pour } k \text{ entier} \in [-K, K]$$

25

$$\text{filtre}_k = 0 \text{ pour les autres valeurs de } k$$

L'équation du filtre numérique se simplifie sous la forme suivante :

$$r_n = \text{Cte} \times \sum_{k=-K}^{k=+K} f_{(n-k)}$$

Pour ce filtre à $2K+1$ coefficients, le calcul d'un échantillon r_n ne se traduit plus alors que par $2K+1$ opérations d'addition, et par une opération de multiplication si le terme Cte est différent de la valeur 1.

On remarque par ailleurs que l'échantillon $r_{(n+1)}$ peut s'obtenir simplement à partir de r_n par la relation $r_{(n+1)} = r_n + \text{Cte}(f_{(n+K+1)} - f_{(n-K)})$

De façon particulièrement avantageuse, en appliquant cette dernière relation, le calcul de chaque nouvel échantillon $r_{(n+1)}$ ne se traduit plus que par deux opérations d'addition.

La réponse fréquentielle du filtre numérique à valeur moyenne s'obtient à partir de la transformée de Fourier de l'opérateur de sommation $\sigma(t)$ suivant :

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= 1 \text{ pour } t \in [-T/2, T/2] \\ \sigma(t) &= 0 \text{ ailleurs} \end{aligned}$$

Le filtrage de $f(t)$ par l'opérateur $\sigma(t)$ se traduit alors par la formule :

$$r(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t-u) \times \sigma(u) du = \int_{-T/2}^{T/2} f(t-u) du$$

La réponse fréquentielle de l'opérateur $\sigma(t)$ est $\Sigma(f)$ avec:

$$\Sigma(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(t) e^{-2i\pi ft} dt = \int_{-T/2}^{T/2} e^{-2i\pi ft} dt$$

On obtient finalement :

$$\Sigma(f) = T \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T}$$

La réponse fréquentielle du filtre à valeur moyenne s'obtient en divisant ensuite celle de l'opérateur sommation $\Sigma(f)$ par T .

$$\text{Filtre}(f) = \Sigma_{\text{moy}}(f) = \Sigma(f) / T = \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T}$$

La réponse fréquentielle du filtre numérique à valeur moyenne sur K échantillons consécutifs s'obtient ensuite en remplaçant T par $(K-1)T_e$, soit :

$$\text{Filtre}(K, f) = \Sigma_{\text{moy}}(K, f) = (K-1)T_e \frac{\sin(\pi f (K-1)T_e)}{\pi f (K-1)T_e}$$

Selon la parité de K , deux équations de filtre numérique sont utilisées pour le calcul des échantillons r_n .

$$\text{Pour } K \text{ impair on a: } r_n = (1/K) \times \sum_{k=-K/2}^{k=+K/2} f_{(n+k)}$$

$$\text{Pour } K \text{ pair on a: } r_n = (1/K) \times \sum_{k=-K/2}^{k=(K/2)-1} f_{(n+k)}$$

On a représenté sur la figure 14 des exemples de tracé de $\text{Filtre}(K, f) = \Sigma_{\text{moy}}(K, f)$ pour quelques valeurs de K , en fonction de f/F_e . La première coupure du filtre à zéro intervient pour $f = F_e/(K-1)$.

- 5 On sait par ailleurs que l'application d'un filtrage passe-bas idéal dans la bande de fréquences $[-F_e/2(n-1), F_e/2(n-1)]$ se traduit par les probabilités de tirage suivantes pour des états flous calculés sur des séquences de n échantillons consécutifs :

$$P1 = P0 = 1/4$$

$$P? = 1/2$$

- 10 On peut se rapprocher d'un gabarit de filtrage passe-bas idéal en choisissant un filtre numérique à valeur moyenne dont la fréquence de coupure à zéro intervient à $f = F_e/2(n-1)$: cette condition est atteinte pour $K = 2n-1$

- Dans la pratique, l'application d'un filtre numérique à valeur moyenne se traduit bien sûr par des probabilités de tirage des états flous qui diffèrent de celles obtenues avec un filtre passe-bas idéal. La détermination de la valeur de K est faite de manière empirique en sachant que les probabilités obtenues avec $K = 2n-1$ seront proches de celles du filtre idéal, et que les probabilités de tirage $P1$ et $P0$ augmentent aussi avec la valeur de K .
- 15

- On décrit ci-après les adaptations apportées aux lois de détermination d'états flous, notamment en fonction de ce qui précède.
- 20

Les calculs de probabilités sur le tirage des états flous prennent pour hypothèse que les données de fichiers représentent les valeurs d'échantillons d'un signal $f(t)$ de valeur moyenne nulle. Cette condition se traduit encore par la relation suivante :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 0$$

Les résultats obtenus sur les probabilités de tirage des états flous ne sont donc valides que si cette condition est respectée pour les échantillons f_n :

$$\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_n = 0$$

Dans le cas d'un fichier d'échantillons de taille N, cette condition devient :

$$\sum_{n=0}^{n=(N-1)} f_n = 0$$

5

Or, les conditions précédentes de valeur moyenne nulle ne sont pas systématiquement satisfaites lorsque l'on détermine les valeurs des échantillons à partir des données binaires d'un fichier. Ces conditions ne sont par exemple pas satisfaites si l'on utilise la loi de codage « entier non signé » pour représenter les valeurs des échantillons associés aux données d'un

10 fichier. En effet, dans ce cas chaque octet représente un entier compris entre 0 et 255, ce qui conduit à une valeur moyenne d'échantillons de 127,5 pour un fichier de contenu aléatoire.

Pour palier ce problème, on introduit comme suit un paramètre de valeur de référence Vref dans la loi de détermination d'états flous sur les séquences de k échantillons consécutifs $r_n \{r_n, r_{n+1}, \dots, r_{n+k-1}\}$ qui ont été obtenus par filtrage numérique à partir des échantillons f_n :

$$\begin{aligned} \text{Etat}_i(n,k) &= 1 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r_{n+i} \geq V_{\text{ref}} \\ \text{Etat}_i(n,k) &= 0 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r_{n+i} < V_{\text{ref}} \\ \text{Etat}_i(n,k) &= ? \text{ Sinon} \end{aligned}$$

15

Le choix de la valeur Vref est alors fait pour s'approcher au mieux de la valeur moyenne prise par les échantillons f_n du fichier de données.

20

Dans le cas où l'application de recherche est ciblée sur la comparaison de fichiers de même nature, comme par exemple des fichiers texte, la valeur de Vref doit être fixée en connaissance de la loi de codage des données du fichier et des probabilités de tirage de chaque code.

Pour la réalisation du programme informatique de recherche plein texte, dans une réalisation préférée, on considère que le format des fichiers à comparer ne serait pas connu à l'avance. On

25 détermine donc la valeur de Vref en procédant à une analyse préalable des fichiers à comparer.

Pour cette réalisation, la valeur de Vref est calculée pour chaque échantillons r_n en effectuant un calcul de valeur moyenne des échantillons f_k sur une séquence de taille fixe, Kref, centrée sur f_n , avec :

$$Vref_n = (1/Kref) \times \sum_{k=-Kref/2}^{k=+Kref/2} f_{(n+k)}$$

Sachant que les échantillons r_n sont déjà obtenus par un calcul de valeur moyenne sur des séquences de K échantillons consécutifs f_k , la taille de la séquence Kref (utilisée pour le calcul de $Vref_n$) est choisie supérieure à celle de K (utilisée pour le calcul des échantillons r_n).

- 5 La loi de détermination des états flous sur les séquences de k échantillons consécutifs $r_n \{r_n, r_{n+1}, \dots, r_{n+k-1}\}$ devient alors :

$$Etat_r(n,k) = 1 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r_{n+i} \geq Vref_{n+i}$$

$$Etat_r(n,k) = 0 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r_{n+i} < Vref_{n+i}$$

$$Etat_r(n,k) = ? \text{ Sinon}$$

- 10 Cette loi se simplifie en posant $r'_n = (r_n - Vref_n)$. Alors :

$$Etat_r(n,k) = 1 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r'_{n+i} \geq 0$$

$$Etat_r(n,k) = 0 \text{ si } \forall i \in \{0, k-1\}, r'_{n+i} < 0$$

$$Etat_r(n,k) = ? \text{ Sinon}$$

Pour K pair et Kref pair, la formule du filtre numérique est :

$$r'_n = (1/K) \sum_{k=-K/2}^{k=(K/2)-1} f_{(n+k)} - (1/Kref) \sum_{k=-Kref/2}^{k=(Kref/2)-1} f_{(n+k)}$$

15

On retiendra que la réponse fréquentielle du filtre numérique associé au calcul des échantillons r'_n s'obtient simplement à partir de celle de $\Sigma moy(K, f)$:

$$Filtre(f) = \Sigma moy(K, f) - \Sigma moy(Kref, f)$$

- 20 Le choix de la valeur de K est fait de manière à ce que la fréquence de coupure à zéro du filtre soit inférieure ou égale à celle qu'il faudrait utiliser pour un filtre passe-bas idéal qui permette d'obtenir des probabilités de tirage d'états 1 ou 0 égales à 1/4. On rappelle que cette fréquence de coupure de filtre passe-bas idéal s'obtient en fonction du rapport d'index k par la formule $Fe/(2.(k-1))$ et que cette condition est atteinte sur $\Sigma moy(K, f)$ pour K plus petit ou égal à $2k-1$.

Le choix de Kref est fait de manière à être supérieur à K, sans être non plus trop élevé.

- 25 Pour la réalisation préférentielle du programme informatique de recherche plein texte, on ajuste automatiquement les valeurs à utiliser pour K et Kref en fonction de la valeur k voulue pour le rapport d'index. Les valeurs de K et de Kref sont choisies en tant que multiple de k, ce qui facilite les calculs d'adresse des données, donc :

$$K = \text{interv} \times k \text{ et } Kref = \text{intervref} \times k$$

La réponse du filtre numérique ajusté pour un rapport d'index k est

$$\text{Filtre}(k,f) = \Sigma \text{moy}(\text{interv} \times k, f) - \Sigma \text{moy}(\text{intervref} \times k, f)$$

Pour la réalisation du programme informatique de recherche plein texte, quatre lois de détermination d'états flous sont simultanément utilisées, dans une réalisation particulière.

5 Les états flous déterminés par la première loi sont codés sur les 2 bits de poids faible de chaque donnée de signature numérique. Les états flous déterminés par la deuxième loi sont codés sur les 2 bits de poids faible suivants de chaque donnée de signature numérique, et ainsi de suite, jusqu'à occupation complète des 8 bits (soit donc 1 octet) de chaque donnée de signature numérique.

10 Les quatre lois sont caractérisées par un jeu de paramètres interv1, interv2, interv3, interv4 et intervref. Le même paramètre intervref est utilisé pour chaque loi. Pour un rapport d'index k, le choix par défaut s'est porté sur le jeu suivant de filtres numériques associés à chaque loi de détermination d'états flous :

$$\text{Filtre1}(k,f) = \Sigma \text{moy}(2k,f) - \Sigma \text{moy}(14k,f)$$

$$15 \quad \text{Filtre2}(k,f) = \Sigma \text{moy}(3k,f) - \Sigma \text{moy}(14k,f)$$

$$\text{Filtre3}(k,f) = \Sigma \text{moy}(5k,f) - \Sigma \text{moy}(14k,f)$$

$$\text{Filtre4}(k,f) = \Sigma \text{moy}(7k,f) - \Sigma \text{moy}(14k,f)$$

La figure 15 illustre la réponse fréquentielle des filtres numériques par défaut ajustés pour un rapport d'index k = 5. Les formules des filtres numériques par défaut ajustés pour un rapport

20 d'index k sont :

$$\begin{aligned} r1_n &= (1/2k) \sum_{k=-2k/2}^{k=(2k/2)-1} f_{(n+k)} - (1/14k) \sum_{k=-7k}^{k=7k-1} f_{(n+k)} \\ r2_n &= (1/3k) \sum_{k=-3k/2}^{k=(3k/2)-1} f_{(n+k)} - (1/14k) \sum_{k=-7k}^{k=7k-1} f_{(n+k)} \\ r3_n &= (1/5k) \sum_{k=-5k/2}^{k=(5k/2)-1} f_{(n+k)} - (1/14k) \sum_{k=-7k}^{k=7k-1} f_{(n+k)} \\ r4_n &= (1/7k) \sum_{k=-7k/2}^{k=(7k/2)-1} f_{(n+k)} - (1/14k) \sum_{k=-7k}^{k=7k-1} f_{(n+k)} \end{aligned}$$

Pour éviter les bruits de calcul occasionnés par les divisions, dans une réalisation avantageuse, on calcule d'abord les sommes, puis on effectue ensuite les tests de signe sur termes r_n en multipliant la première somme par Kref et la deuxième somme par K.

25

On décrit maintenant une optimisation complète pour l'application à un moteur de recherche plein texte.

Cette optimisation commence par la détermination d'un rapport d'index approprié.

Pour être indépendant des choix particuliers qui pourraient être retenus pour la réalisation des
5 filtres numériques passe-bas (figure 13), on utilise l'équation générale suivante pour le filtre numérique :

$$r_n = \sum_{i=-12}^{i=+12} \text{filtre}_i \times f_{(n+i)}$$

Comme indiqué relativement à la figure 13, chaque donnée de signature numérique $s_{n/k}$ est
déterminée à partir d'un groupe de k échantillons consécutifs $\{r_n, r_{n+1}, r_{n+2}, \dots, r_{n+k-1}\}$, k
10 désignant la valeur du rapport d'index et n étant choisi multiple de k . Cette détermination peut être décomposée en deux étapes :

- la détermination d'un état binaire eb_n associé à chaque échantillons r_n , avec :

$eb_n = 0$ si $r_n < 0$, et $eb_n = 1$ sinon

- la détermination d'un état flou $s_{n/k}$ par un OU logique sur le groupe d'états binaires
15 consécutifs $\{eb_n, eb_{n+1}, eb_{n+2}, \dots, eb_{n+k-1}\}$:

$s_{n/k} = (eb_n \text{ ou } eb_{n+1} \text{ ou } eb_{n+2} \text{ ou } \dots \text{ ou } eb_{n+k-1})$

On a illustré sur la figure 16A les relations entre adresses de données de fichier et adresses de
données de signatures numériques. On observe que dans le cas d'un choix de rapport d'index
 k , chaque donnée de signature numérique d'adresse (n/k) est déterminée à partir d'un groupe
20 de $(11 + k + 12)$ données de fichier: $\{f_{n-11}, \dots, f_{n+12+k-1}\}$. On notera aussi que dans le cas où les
adresses utilisées pour le calcul des échantillons r_n débordent de la plage des données du
fichier à indexer, les états eb_n associés sont initialisés à l'état flou « ? ». Sur la figure 16A, les
échantillons f_n sont tirés des données du fichier. On leur applique ensuite le filtrage numérique
pour obtenir les échantillons filtrés r_n en correspondance des états eb_n associés. Les états flous
25 $s_{n/k}$ correspondant aux données de signature numérique sont ensuite déterminés par la
comparaison mettant en jeu le OU logique :

$s_{n/k} = (eb_n \text{ ou } eb_{n+1} \text{ ou } eb_{n+2} \text{ ou } \dots \text{ ou } eb_{n+k-1})$

en respectant avantagusement les mêmes adresses de départ des échantillons f_n .

Pour l'application au moteur de recherche plein texte, la valeur k du rapport d'index
30 conditionne la valeur de taille minimale d'extraits communs à deux fichiers qui peuvent être
détectés en procédant par une recherche d'extraits communs de signatures numériques. Cette
taille minimale d'extrait commun de fichier est obtenue lorsque la taille de l'extrait commun

aux signatures numériques est égale à 1. Dans ce cas, la condition de détection de l'extrait commun de fichier impose que le groupe des données consécutives de l'extrait à trouver recouvre le groupe des données consécutives utilisées pour le calcul de chaque donnée de signature numérique.

- 5 En prenant les notations t_{ext} pour la taille d'extrait commun de fichier à trouver et t_{sign} pour la taille du groupe de données utilisées pour le calcul d'une donnée d'index, on démontre la relation $t_{\text{ext}} \geq t_{\text{sign}} + (k - 1)$.

On a représenté sur la figure 16B les conditions de recouvrement des données associées au calcul d'une donnée de signature numérique par celles d'un extrait de fichier. Sur la figure 10 16B, la référence EXT désigne un extrait de données qui satisfait la condition de recouvrement du groupe de données utilisé pour déterminer la donnée de signature numérique d'adresse (n/k) . La référence G1 désigne le groupe de données utilisé pour déterminer la donnée de signature numérique d'adresse (n/k) . La référence G2 désigne le groupe de données utilisé pour déterminer les données de signature numérique d'adresses respectives $(n/k)-1$ et (n/k) . La 15 référence ADSN désigne les adresses des données de signature numérique. On rappelle que l'entier n est un multiple du rapport d'index k .

On observe que les conditions de recouvrement dépendent de la phase de l'adresse de début de l'extrait de données qui sera recherché. Dans le cas le plus favorable, l'adresse de début de l'extrait coïncide avec l'adresse de la première donnée d'un groupe de données utilisé pour le 20 calcul d'une donnée de signature numérique. Dans ce cas, l'adresse de début de l'extrait est $n-I1$ (avec n multiple de k) et la taille minimale de l'extrait pour recouvrement est $I1 + I2 + k$.

Dans le cas le moins favorable, l'adresse de début de l'extrait coïncide avec l'adresse $+1$ de la première donnée d'un groupe de données utilisé pour le calcul d'une donnée de signature numérique. Dans ce cas, l'adresse de début de l'extrait est $n-I1-(k-1)$ (avec n multiple de k) et 25 la taille minimale de l'extrait pour recouvrement vaut $I1 + I2 + k + (k-1)$.

Dans tous les cas, la condition de recouvrement d'un groupe de données utilisé pour le calcul d'une seule donnée de signature numérique est satisfaite si la taille de l'extrait à trouver est supérieure ou égale à $(I1 + I2 + 2k - 1)$. Réciproquement, si la taille d'extrait à trouver est égale 30 à $(I1 + I2 + 2k - 1)$, l'extrait recouvre bien un groupe de données utilisé pour le calcul d'une donnée unique de signature numérique.

On peut étendre le raisonnement au cas du recouvrement d'un groupe de données utilisé pour le calcul d'un extrait de données de signatures numériques de taille TES. Dans le cas le plus favorable, l'adresse de début de l'extrait coïncide avec l'adresse de la première donnée d'un

groupe de données utilisé pour le calcul de TES données consécutives de signature numérique.
Si l'adresse de début de l'extrait vaut $n - I1$ (avec n multiple de k), la taille minimale de l'extrait pour recouvrement vaut $I1 + I2 + k.TES$.

5 Dans le cas le moins favorable où l'adresse de début de l'extrait coïncide avec l'adresse +1 de la première donnée d'un groupe de données utilisé pour le calcul de TES données de signature numérique, l'adresse de début de l'extrait vaut $n - I1 - (k-1)$ (avec n multiple de k) et la taille minimale de l'extrait pour recouvrement = $I1 + I2 + k.TES + (k-1)$.

10 Dans tous les cas, la condition de recouvrement d'un groupe de données utilisé pour le calcul de TES données consécutives de signature numérique est satisfaite si la taille de l'extrait à trouver est supérieure ou égale à $(I1 + I2 + k(TES+1) - 1)$.

A partir des formules précédentes, on applique un raisonnement inverse pour déterminer les valeurs de rapport d'index k qui peuvent être utilisées pour rechercher un extrait commun de fichiers de taille TEF. On doit satisfaire aux relations suivantes :

$$TEF \geq I1 + I2 + k(TES + 1) - 1, \text{ et}$$

15 $TES \geq 1$ (qui est simplement la taille minimum d'extrait commun de signatures numériques)

La valeur minimale pour k est $k_{min} = 2$, sinon il n'y a bien sûr aucune amélioration à attendre sur la vitesse de recherche.

On en déduit enfin la valeur de taille minimale utilisable pour TEF

$$TEF_{mini} = I1 + I2 + 2(TES + 1) - 1$$

20 On notera que pour $TES = 1$, $TEF_{mini} = I1 + I2 + 3$

La valeur maximale pour k s'obtient à rebours en prenant $TES = 1$, alors :

$$k_{max} = \text{partie entière de } [(TEF - I1 - I2 + 1) / 2]$$

Pour toute valeur de k comprise entre k_{min} et k_{max} , on déduit la taille de l'extrait commun de signature TES qui conditionnera la détection d'un extrait commun possible aux fichiers de
25 taille TEF :

$$TES \leq \text{partie entière de } [(TEF - I1 - I2 + 1) / k] - 1$$

Les formules peuvent être adaptées au cas particulier des filtres numériques « *par défaut* » ajustés pour un rapport d'index k , comme on l'a vu précédemment. Il suffit alors de remplacer $I1$ par $(\text{intervref} \times k)/2$ et $I2$ par $I1 - 1$. On obtient la relation suivante entre TEF, TES, k et
30 intervref :

$$TEF \geq k(\text{intervref} + TES + 1) - 2$$

La valeur de taille minimale utilisable pour TEF est obtenue pour $k = 2$ et $TES = 1$ et l'on déduit $TEF_{mini} = 2 \cdot \text{intervref} + 2$

Pour TEF fixe, on déduit la plage de valeurs licites pour le rapport d'index k:

$$k_{\min} = 2 \leq k \leq k_{\max} = \text{partie entière}[(TEF + 2) / (\text{intervref} + 2)]$$

Pour toute valeur de k comprise entre k_{\min} et k_{\max} , on déduit la taille de l'extrait commun de signature TES qui conditionnera la détection d'un extrait commun possible aux fichiers de taille TEF :

$$TES \leq \text{partie entière de } [(TEF + 2) / k] - (\text{intervref} + 1)$$

Ainsi, la détection d'un extrait commun de fichiers de taille TEF peut être obtenue par comparaison de signatures numériques en utilisant différentes valeurs de rapport d'index k. Pour une valeur déterminée TEF, on déduit une plage de valeurs utilisables pour k : de k_{\min} à k_{\max} . Pour chaque valeur utilisable de k, on détermine ensuite une valeur TES de taille maximale d'extrait commun de signatures numériques qui garantisse la détection d'un extrait commun de fichiers de taille TEF.

On va maintenant examiner comment choisir la valeur de k (dans la plage licite k_{\min} , k_{\max}) pour avoir la vitesse de recherche la plus rapide.

Comme indiqué précédemment, pour l'application à un moteur de recherche plein texte, la recherche se fait en deux passes :

- la recherche d'extraits communs de signatures numériques de taille supérieure ou égale à TES, et
- pour chaque extrait commun de signatures numériques trouvé, la recherche ciblée d'extraits communs de fichiers de taille TEF parmi le jeu de couples de positions de début d'extraits de fichiers en relation avec le couple de positions de début de l'extrait commun de signatures numériques.

Pour l'évaluation du nombre d'opérations de comparaison à effectuer pour les deux passes de recherche, on retient dans une première approche les hypothèses simplificatrices suivantes :

- les probabilités de tirage des données de fichiers sont indépendantes ;
- par ailleurs, les probabilités de tirage des données de signatures numériques sont indépendantes.

La probabilité de tirage d'un extrait commun de fichiers de taille 1 est notée PF. La probabilité de tirage d'un extrait commun de fichiers de taille 2 est notée PF2. Enfin, la probabilité de tirage d'un extrait commun de fichiers de taille TEF est PFTEF.

Ensuite, la probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 est notée PS. La probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques de taille 2 est PS2. La probabilité de tirage d'un extrait de taille TES est PSTES.

On adopte par ailleurs les notations suivantes :

TF1: Taille du premier fichier à comparer

TF2: Taille du second fichier à comparer avec le premier fichier

TS1: Taille de la signature numérique associée au premier fichier

5 TS2: Taille de la signature numérique associée au second fichier

On évalue d'abord le nombre Total1 de comparaisons à effectuer pour la première étape de recherche « *grossière* » d'extraits communs de signatures numériques de taille supérieure ou égale à TES. Le nombre de couples possibles de positions de début d'extrait commun de signatures numériques est égal à $TS1 \times TS2$. Pour une valeur de rapport d'index k, les tailles
10 TS1 et TS2 se déduisent des tailles TF1 et TF2 par les relations :

$$TS1 = TF1 / k \text{ et } TS2 = TF2 / k$$

Pour chaque couple possible de positions de début d'extrait commun de signatures numériques, on compare des premières données d'extrait. En cas de corrélation, la comparaison se poursuit avec les deuxièmes données d'extrait, et ainsi de suite jusqu'à
15 atteindre la taille d'extrait demandée TES.

Pour chaque test, le nombre moyen d'opérations de comparaison s'obtient à partir de la probabilité de tirage PS, avec :

Pour le test des premières données d'extrait : 1 opération,

Pour le test des deuxièmes données d'extrait : PS opérations,

20 Pour le test des TESⁱèmes données d'extrait: PS^{TES-i} opérations.

Au total, on obtient donc $1 + PS + \dots + PS^{TES-1}$, soit $(1 - PS^{TES}) / (1 - PS)$ opérations. La valeur de Total1 s'en déduit par multiplication par $(TS1 \times TS2)$, soit :

$$Total1 = (TF1 \times TF2) \times (1 - PS^{TES}) / (k^2 \times (1 - PS))$$

On évalue maintenant le nombre Total2 de comparaisons à effectuer pour la seconde étape de
25 recherche « *ciblée* » d'extraits communs de fichiers de taille TEF parmi le jeu de couples de positions de début d'extraits de fichiers en relation avec les extraits communs de signatures numériques trouvés à la précédente étape de recherche grossière. Pour un extrait commun de signatures numériques repéré par un couple d'adresses de début (n1, n2), les adresses de début à tester sur le premier fichier sont comprises entre $(k.n1 + I2 + k.TES - TEF)$ et $(k.n1 - I1)$, soit
30 au total, $Na = (TEF - I1 - I2 - k.TES + 1)$ adresses possibles (figures 16A et 16B).

La valeur de TEF peut être par ailleurs encadrée par la relation suivante quand on utilise la plus grande valeur possible pour k :

$$I1 + I2 + k(TES + 1) - 1 \leq TEF < I1 + I2 + k(TES + 2) - 1$$

On en déduit que $k \leq Na < 2k$.

Le même raisonnement s'applique aux adresses de début à tester sur le deuxième fichier en substituant $n2$ à $n1$.

Il y a donc au total Na^2 couples de positions de début d'extraits communs de fichiers à évaluer.

- 5 Le nombre moyen de comparaisons à effectuer pour rechercher un extrait commun de fichiers de taille TEF s'obtient à partir de la probabilité de tirage PS mais en appliquant un raisonnement analogue à celui de l'étape de recherche grossière :

$$Na^2 \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF)$$

- 10 Le nombre moyen d'extraits communs de signatures numériques trouvés à la première étape s'obtient à partir de la probabilité de tirage PS et des tailles des signatures TS1 et TS2 :

$$TS1 \times TS2 \times PS^{TES}$$

On remplace TS1 par $TF1/k$ et TS2 par $TF2/k$ et on obtient finalement Total2 par produit des dernières expressions:

$$Total2 = (TF1 \times TF2) \times (Na^2/k^2) \times PS^{TES} \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF)$$

- 15 On a déjà montré que $1 \leq Na/k < 2$. On en déduit les relations suivantes:

$$Total2 \geq (TF1 \times TF2) \times PS^{TES} \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF) \text{ et}$$

$$Total2 < 4 \times (TF1 \times TF2) \times PS^{TES} \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF)$$

On indique que le signe « x » signifie ici « multiplié par ».

- 20 Enfin, l'évaluation du nombre Total3 d'opérations de comparaison à effectuer pour les deux passes de recherche s'obtient par simple addition de Total1 et de Total2, soit :

$$Total3 = (TF1 \times TF2) \times (1 - PS^{TES}) / (k^2 \times (1 - PS)) \\ + (TF1 \times TF2) \times (Na/k)^2 \times PS^{TES} \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF)$$

Pour les grandes valeurs de TEF et TES, la relation peut être approchée par :

$$Total3 = (TF1 \times TF2) \times [(1 / (k^2 \times (1 - PS))) + ((Na/k)^2 \times PS^{TES} / (1 - PF))]$$

- 25 Le nombre total de comparaisons à effectuer avec l'algorithme de recherche de référence est proche de $TF1 \times TF2$. Le rapport entre ce dernier nombre et Total3 donne une estimation du gain de vitesse de recherche obtenu par utilisation de l'algorithme au sens de l'invention :

$$Gain = 1 / [(1 / (k^2 \times (1 - PS))) + ((Na/k)^2 \times PS^{TES} / (1 - PF))]$$

- 30 Quand le second terme de la somme est inférieur au terme en $1/k^2$, on notera que l'on obtient un gain supérieur à $k^2/2(1 - PS)$.

On indique incidemment que, toutefois, pour obtenir le gain effectif de vitesse de recherche, il faut aussi déduire les temps propres au calcul des signatures numériques.

Comme on le verra en référence à la figure 17, l'étude des variations de la fonction Total3 en fonction du rapport d'index k montre que :

- le premier terme de la somme en $1/k^2$ décroît très rapidement quand k augmente,
- le deuxième terme de la somme en $PS^{TES(k)}$, croît quand k augmente, car la valeur de TES(k) décroît quand k augmente.

On rappelle que dans le cas général, $TES = \text{partie entière de } [(TEF - I1 - I2 + 1) / k] - 1$

Dans le cas des filtres numériques à valeur moyenne optimisés,

$$TES = \text{partie entière de } [(TEF + 2) / k] - (\text{intervref} + 1)$$

Il apparaît que la valeur de k à utiliser pour obtenir la valeur minimum de cette fonction ne peut pas être déterminée par une relation mathématique simple. Toutefois, comme le jeu des valeurs possibles de k est réduit, on détermine la valeur optimale de k de manière empirique.

Pour chaque valeur possible de k (entre kmin et kmax), on calcule la valeur de Total3 en fonction de k et l'on retient la valeur de k qui produit la plus petite valeur de Total3.

Toutefois, l'évaluation du nombre d'opérations de comparaison à effectuer est plus précise si l'on corrige aussi le modèle utilisé pour le calcul des probabilités de tirage d'extraits communs de signatures numériques. En effet, les probabilités de tirage des données de signatures numériques ne sont pas indépendantes entre elles, car il y a un recouvrement important entre la plage des données de fichier qui sont utilisées pour le calcul d'une donnée de signature numérique d'adresse (n/k) et celle des données de fichier qui sont utilisées pour le calcul de la donnée suivante de signature numérique d'adresse (n/k)+1.

Dans le cas général d'un filtre numérique passe-bas à $(I1 + I2 + 1)$ coefficients, les états flous pris par les données de signature numérique d'adresses (n/k) et $((n/k) + j)$ seront indépendants si il n'y a pas de recouvrement entre les plages de données de fichier qui sont utilisées pour leur détermination. Cette condition est satisfaite si $(n + I2 + k - 1) < (n + k.j - I1 - k + 1)$, soit si : $j > (I1 + I2 + 2k - 2) / k$

Dans le cas particulier des filtres numériques par défaut ajustés pour un rapport d'index k, on substitue simplement $(k \times \text{intervref} - 1)$ à $(I1 + I2)$ dans l'équation précédente. La condition d'indépendance est alors satisfaite si $j > (\text{intervref} + 2) - 3/k$, autrement dit, si l'écart d'adresses entre les données de signatures numériques vaut au moins $(\text{intervref} + 2)$.

Pour tenir compte de la dépendance des états flous pris par des données consécutives de signature numérique, le modèle de probabilités est modifié comme indiqué ci-après.

La probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1, indépendant est notée PSI. La probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques de taille

2 est égale à la probabilité de tirage PSI d'un extrait de taille 1, multipliée par la probabilité de tirage conditionnelle PSD (D pour dépendant) d'un autre extrait de taille 1 consécutif à un extrait préalablement trouvé de taille 1. Cette probabilité de tirage devient alors PSI x PSD. La probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques de taille 3 devient PSI x PSD². Finalement, la probabilité de tirage d'un extrait de taille TES devient PSI x PSD^(TES-1).

On démontre la relation suivante entre PSI et PSD: $PSD^{(Intervref + 2)} < PSI$

A partir de ce nouveau modèle de probabilités, on réévalue les formules de calcul des nombres Total1 et Total2 :

$$Total1 = [(TF1 \times TF2) / k^2] \times [1 + (PSI \times (1 - PSD^{(TES-1)}) / (1 - PSD))]$$

$$Total2 = (TF1 \times TF2) \times (Na/k)^2 \times PSI \times PSD^{(TES-1)} \times (1 - PF^{TEF}) / (1 - PF)$$

Pour des valeurs élevées de TEF et TES, les formules peuvent être approchées comme suit :

$$Total1 = [(TF1 \times TF2) / k^2] \times [1 + (PSI / (1 - PSD))]$$

$$Total2 = (TF1 \times TF2) \times (Na/k)^2 \times PSI \times PSD^{(TES-1)} / (1 - PF)$$

$$\text{Et Total3} = (TF1 \times TF2) \times [(1 + (PSI / (1 - PSD))) / k^2 + ((Na/k)^2 \times PSI \times PSD^{(TES-1)}) / (1 - PF)]$$

Dans une réalisation préférée, les valeurs de PSI et PSD sont déterminées à l'avance par analyse statistique des résultats de comparaisons entre signatures numériques obtenues avec des fichiers de grande taille. A cet effet, un programme spécifique d'analyse statistique étalonne les valeurs à utiliser pour PSI et PSD.

Pour le jeu de 4 filtres numériques par défaut (figure 15) ajustés pour un rapport d'index k, les valeurs relevées pour PSI et PSD varient peu en fonction de k. La réalisation utilise les valeurs arrondies suivantes: PSI = 0,4 et PSD = 0,6

On a représenté sur la figure 17 les variations de Total1, Total2 et Total3 en fonction de k avec le jeu de filtres numériques par défaut et pour une valeur de taille minimale d'extraits communs de fichiers à trouver égale à 1000 et des tailles de fichiers à comparer de 100 kilooctets.

On décrit maintenant l'amélioration de la sélectivité de la recherche d'extraits communs de signatures numériques, toujours pour un moteur de recherche plein texte.

Dans le cas simple où les données de signatures numériques ne porteraient chacune qu'un seul état de logique flou, on peut déduire des probabilités de tirage des états « 0 », « 1 » et « ? » la probabilité PSI de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1.

On note P0 la probabilité de tirage de l'état 0, P1 celle de l'état 1 et P? celle de l'état ?.

Pour un couple donné de positions de début d'extraits de signatures numériques à évaluer, les conditions de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 sont les suivantes:

- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 0, il faut que l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier soit égal à 0 ou à ?,
- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 1, il faut que l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier soit égal à 1 ou à ?,
- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut ?, l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier peut prendre la valeur quelconque 0, 1 ou ?

Pour un couple donné de positions de début d'extraits de signatures numériques à évaluer, les probabilités de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 se déterminent comme suit pour chaque situation précédemment présentée :

- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 0 et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier vaut 0 ou ? (Probabilité = $P_0 \times (P_0 + P_?)$)
- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 1 et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier vaut 1 ou ? (Probabilité = $P_1 \times (P_1 + P_?)$)
- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut ? et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier prend une valeur quelconque (Probabilité = $P_? \times 1 = P_?$)

La probabilité de détection PSI s'obtient par addition des probabilités de chaque situation :

$$PSI = P_0 \times (P_0 + P_?) + P_1 \times (P_1 + P_?) + P_?$$

- La formule de détermination de PSI peut encore se simplifier en remplaçant $(P_0 + P_?)$ par $(1 - P_1)$, $(P_1 + P_?)$ par $(1 - P_0)$, et $(P_0 + P_1 + P_?)$ par 1, et :

$$PSI = P_0 \times (1 - P_1) + P_1 \times (1 - P_0) + P_? = 1 - 2 \times P_0 \times P_1$$

- La valeur maximale de PSI vaut 1. Elle est obtenue pour $P_0 = 0$ ou $P_1 = 0$. Cette situation est à proscrire, car, dans ce cas, la recherche d'extraits communs de signatures numériques n'a aucune sélectivité.

La valeur minimale de PSI vaut 1/2. Elle est obtenue pour $P_? = 0$ et $P_0 = P_1 = 1/2$. Cette situation est idéale et peut être approchée si l'on utilise un filtre numérique ajusté par défaut

avec des valeurs élevées pour les paramètres intervref et interv , comme on l'a vu précédemment.

Pour les filtres numériques à valeur moyenne, la valeur de PSI est obtenue de manière statistique par l'analyse de la comparaison entre elles de signatures numériques de grande
 5 taille. On a montré que l'application d'un filtre idéal de coupure $F_c/2(k-1)$ se traduit par des probabilités $P_0 = P_1 = 1/4$ et $P_7 = 1/2$. Il en résulte que $\text{PSI} = 7/8$

On utilise donc des filtres numériques plus sélectifs de sorte que $\text{PSI} < 7/8$, dans une réalisation préférentielle.

Dans le cas général où les données de signatures numériques portent chacune 4 états de
 10 logique floue (état supplémentaire « X » (interdit)), on évalue à partir des résultats précédents la probabilité PSI de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1. On note PSI_1 , la probabilité de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 en ne s'appuyant que sur une comparaison des états pris par la première loi de détermination d'états flous. On note PS_2 , PS_3 et PS_4 , les probabilités de détection analogues associées aux
 15 lois suivantes de détermination d'états flous (loi 1, loi 2, loi 3 et loi 4). Si les lois sont indépendantes entre elles, $\text{PSI} = \text{PSI}_1 \times \text{PSI}_2 \times \text{PSI}_3 \times \text{PSI}_4$. Dans la pratique, il y a une dépendance entre les lois et la valeur de PSI obtenue par analyse statistique est supérieure au produit précédent.

Ainsi, la détermination de chaque état flou d'une signature numérique est effectuée par un
 20 calcul préalable d'un jeu de k états binaires consécutifs. Dans le cas d'une recherche d'extraits communs de fichiers, on remarquera que la détection d'un extrait commun possible entre les fichiers sera toujours garantie si :

- chaque donnée de signature numérique d'adresse $(n1/k)$ associée au premier fichier est déterminée par comparaison entre eux de k états binaires consécutifs d'adresses $n1, n1+1,$
 25 $\dots, n1+k-1$, et
- chaque donnée de signature numérique d'adresse $(n2/k)$ associée au second fichier est déterminée par simple recopie de l'état binaire calculé pour d'adresse $n2$.

On indique en effet que, dans une réalisation préférée, on compare entre elles, en fait, une signature numérique portant des états flous (0, 1 ou ?) (premier fichier) à une signature
 30 numérique ne portant que des états binaires (0 ou 1) (second fichier). On montre ci-après que l'on améliore ainsi la sélectivité de la recherche, car on diminue simplement les probabilités de détection d'extraits communs aux signatures numériques.

Pour un couple donné de positions de début d'extraits de signatures numériques à évaluer, les conditions de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 sont les suivantes :

- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 0, il faut que l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier soit égal à 0,
- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 1, il faut que l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier soit égal à 1,
- si l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut ?, l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier prend une valeur quelconque 0 ou 1.

On prend pour notation $P0'$ et $P1'$ les probabilités de tirage des états binaires portés par les données de signature numérique associées au deuxième fichier. On a les relations suivantes:

$$P0' + P1' = 1$$

$$P0 \leq P0' \leq P0 + P?$$

$$P1 \leq P1' \leq P1 + P?$$

Pour un couple donné de positions de début d'extraits de signatures numériques à évaluer, les probabilités de détection d'un extrait commun de signatures numériques de taille 1 se déterminent alors comme suit pour chaque situation précédemment présentée:

- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 0 et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier vaut 0 (Probabilité = $P0 \times P0'$),
- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut 1 et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier vaut 1 (Probabilité = $P1 \times P1'$),
- l'état de la donnée de signature numérique associée au premier fichier vaut ? et l'état de la donnée de signature numérique associée au second fichier prend n'importe quelle valeur (Probabilité = $P? \times 1 = P?$).

La probabilité de détection PSI' s'obtient par addition des probabilités de chaque situation :

$$\begin{aligned} PSI' &= P0 \times P0' + P1 \times P1' + P? \\ &\leq P0 \times (P0 + P?) + P1 \times (P1 + P?) + P? \\ &\leq PSI \end{aligned}$$

La relation $PSI' \leq PSI$ implique donc une amélioration de la sélectivité de la recherche en procédant à la comparaison entre une signature portant des états flous et une signature ne portant que des états binaires.

On remarquera que pour un extrait commun de signatures numériques repéré par un couple d'adresses de début (n1, n2), les adresses de début à tester sur les fichiers doivent tenir compte de l'utilisation d'une signature numérique binaire pour la recherche. Dans le cas où la signature numérique floue est calculée à partir du premier fichier, les adresses de début à tester sont comprises entre $(kx n1 + I2 + kxTES - TEF)$ et $(kx n1 - I1)$, soit au total:

$$Naf = (TEF - I1 - I2 - kxTES + 1) \text{ adresses possibles.}$$

Dans le cas où la signature numérique binaire est calculée à partir du deuxième fichier, les adresses de début à tester sont comprises entre :

$$(kx n2 + I2 + kx(TES - 1) - (TEF - 1)) \text{ et } (kx n2 - I1),$$

soit au total :

$$Nab = (TEF - I1 - I2 - kx(TES - 1)) \text{ adresses possibles.}$$

Pour un filtre numérique par défaut avec paramètre intervref, on obtient :

$$Naf = TEF - kxintervref - kxTES + 2$$

$$Nab = TEF - kxintervref - kx(TES - 1) + 1$$

On décrit ci-après un étalonnage des lois de probabilités associées aux filtres numériques. On a relevé sur le tableau ci-après les probabilités PSI et PSD de filtres numériques à valeur moyenne obtenus par la comparaison de deux fichiers texte de grande taille (300 kilooctets).

Variations de PSI et PSD en fonction de interv pour k=30 et intervref=14									
Interv	1	2	3	4	5	6	7	Cumul2357	Produit2357
PSI		0,773486	0,736862	0,721675	0,71152	0,707414	0,709985	0,430022	0,28792163
PSD		0,791133	0,785281	0,788749	0,78712	0,782898	0,784331	0,561866	0,38354132
Variations de PSI et PSD en fonction de interv pour k=23 et intervref=30									
Interv	1	2	3	4	5	6	7	Cumul2357	Produit2357
PSI		0,760849	0,711247	0,68624	0,67309	0,660956	0,652175	0,394079	0,23442846
PSD		0,77943	0,781081	0,784095	0,79249	0,792398	0,796662	0,593634	0,38436208
Variations de PSI et PSD en fonction de interv pour k=30 et intervref=30									
Interv	1	2	3	4	5	6	7	Cumul2357	Produit2357
PSI		0,759058	0,714971	0,690597	0,67417	0,660454	0,653617	0,400642	0,23914252
PSD		0,787054	0,784398	0,788614	0,79325	0,794868	0,799158	0,604817	0,39136461
Variations de PSI et PSD en fonction de k pour cumul2357 et Intervref=14									
k	2	5	10	20	50	100	200	372	5880
PSI		0,325587	0,382557	0,412087	0,44424	0,443922	0,428286	0,42322	0,413466
PSD		0,473232	0,528938	0,546894	0,57964	0,590101	0,581612	0,583971	0,627414

On constate que :

- PSI est toujours inférieur à PSD,
- pour k fixe, PSI décroît légèrement quand interv augmente et PSD reste pratiquement constant,
- 5 - pour k fixe, PSI décroît légèrement quand intervref augmente.

Les probabilités relevées pour le cumul de 4 filtres (interv = 2, 3, 5 et 7) sont supérieures au produit des probabilités relevées pour individuellement pour chaque filtre. On comprendra donc qu'il y a dépendance entre elles des probabilités associées à chaque loi.

- 10 Pour s'approcher au mieux d'une situation d'indépendance des probabilités, on peut envisager de procéder comme suit pour adapter la réalisation des fonctions de calcul des signatures numériques :

- pour la loi 1, on détermine des valeurs prises par les échantillons f_n par utilisation d'une loi de codage d'entiers sur les 8 bits de chaque donnée,
- pour la loi 2, on détermine ces valeurs mais après rotation des 8 bits par décalage de 2 bits,
- 15 - pour la loi 3, on détermine ces valeurs mais après rotation des 8 bits par décalage de 4 bits,
- pour la loi 4, on détermine ces valeurs mais après rotation des 8 bits par décalage de 6 bits.
- on utilise pour chaque loi un même couple de paramètres pour le filtre numérique à valeur moyenne, par exemple interv = 4 et intervref = 10.

- 20 Pour les valeurs élevées de TEF (et TES), le modèle mathématique d'estimation des nombres d'opérations de comparaison à effectuer pour la recherche donne de bons résultats sur la détermination automatique de valeur optimale de rapport d'index à utiliser.

Pour les valeurs faibles de TEF (et TES), le modèle mathématique d'estimation ne donne pas de bons résultats, car les traitements de recherche ne sont plus majoritairement alloués à des opérations de comparaison.

- 25 Pour chaque extrait commun de signatures numériques trouvé, un programme déclenche l'appel d'une fonction de recherche ciblée d'extrait commun de fichier sur une plage restreinte de couples d'adresses de début sur les fichiers. A chaque appel, la fonction procède à un certain nombre de tests de validité des paramètres d'appel et d'initialisation de variables locales. A chaque appel, cette fonction effectue une opération de lecture sur chaque fichier des
- 30 données à comparer dont la vitesse dépend des performances du disque dur et du bus de l'ordinateur. Pour tenir compte de l'impact de ces temps de traitement supplémentaires, on utilise un modèle mathématique encore corrigé qui ajoute, à l'étape de recherche ciblée d'extraits communs de fichier, des nombres d'opérations de comparaison représentatifs des

temps d'appel de la fonction de recherche ciblée et des temps de lecture des données à comparer. Typiquement, le nombre ajouté à Total2 est de la forme :

$$[(TF1 \times TF2) / k^2] \times PSI \times PSD^{(TES-1)} \times [A + B \times k],$$

où

5 A est une constante représentative des temps d'appel de la fonction de recherche ciblée, et

B est constante représentative des temps de lecture des données sur disque dur.

Les valeurs des paramètres A et B dépendent des caractéristiques de l'ordinateur utilisé pour l'exécution du programme et sont déterminées de manière empirique.

10 On décrit ci-après des résultats d'évaluation des performances avec comme ordinateur utilisé pour l'évaluation un processeur Pentium III à 1GHz, 128 Mo RAM, disque dur 20 Go (sous le système d'exploitation Windows 98®).

Les performances ont été relevées avec l'exécution d'un programme informatique de recherche plein texte développé spécifiquement en langage C++. Le programme propose au choix
15 d'utiliser un algorithme « *classique* » ou un algorithme au sens de l'invention pour effectuer une recherche d'extraits communs à deux fichiers. Les temps d'exécution de l'algorithme au sens de l'invention intègrent également ceux de calcul des signatures numériques.

Afin d'éviter de fausser les mesures de performance, une attention particulière doit être portée sur le choix des fichiers utilisés pour effectuer les recherches. En effet, il s'est avéré au cours
20 de tests que les fichiers de données associés à des logiciels courants tels que Word®, Excel®, PowerPoint®, ou autres ont des formats de stockage qui conduisent à l'existence de nombreuses plages de données consécutives initialisées à la même valeur 0 (0x00). Comme la taille de ces plages est de l'ordre de plusieurs centaines de données, le modèle de probabilité utilisé pour la réalisation du programme de recherche prototype est faussé. Des adaptations de
25 ce modèle doivent être étudiées au cas par cas, comme par exemple la non prise en compte dans la fonction de recherche ciblée du couple valeurs de données (0,0) comme position de début d'extrait commun.

Le choix de type de fichier texte s'est porté plutôt sur des documents texte de grande taille au format HTML. La vitesse de recherche est exprimée en million d'opérations de comparaison
30 par secondes (Méga ops/sec). Le premier fichier est de taille : 213275 octets et le second fichier de taille : 145041 octets. Le tableau ci-après montre les résultats obtenus.

Taille minimale des extraits à trouver	100	150	200	250
Algorithme classique				
Vitesse moyenne de recherche	46,5	46,5	46,5	46,5
Temps de recherche	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s
Algorithme de l'invention				
Vitesse moyenne de recherche	116,50	205,18	299,05	391,07
Temps de recherche	04m25,180s	02m30,500s	01m43,200s	01m18,870s
Facteur de gain	2,51	4,41	6,43	8,41

Taille minimale des extraits à trouver	500	750	1000	1500
Algorithme classique				
Vitesse moyenne de recherche	46,5	46,5	46,5	46,5
Temps de recherche	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s
Algorithme de l'invention				
Vitesse moyenne de recherche	1305,38	3051,29	4931,66	9711,95
Temps de recherche	0m23,560s	0m10,050s	0m06,200s	0m03,130s
Facteur de gain	28,07	65,62	106,06	208,86

Taille minimale des extraits à trouver	2000	2500	5000	7500
Algorithme classique				
Vitesse moyenne de recherche	46,5	46,5	46,5	46,5
Temps de recherche	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s	11m03.99s
Algorithme de l'invention				
Vitesse moyenne de recherche	15740,09	21929,98	58334,07	101080,35
Temps de recherche	0m01,920s	0m01,370s	0m00,500s	0m00,280s
Facteur de gain	338,50	471,61	1254,50	2173,77

- 5 On décrit maintenant d'autres applications de recherche d'extraits communs probables. Dans certains domaines d'application, les critères de détection d'extraits communs de fichiers diffèrent de l'identité parfaite des extraits à trouver. C'est notamment le cas de fichiers de données représentatifs de la numérisation d'un signal, tels que par exemple des fichiers audio (avec une extension .wav par exemple).

On sait que la valeur des échantillons obtenus dépendra de la phase de l'horloge d'échantillonnage. On sait par ailleurs que le dispositif de numérisation introduit d'autres erreurs sur les valeurs des échantillons (bruit, gigue d'horloge, dynamique, ou autre).

Pour ces applications, le principe de l'algorithme de recherche au sens de l'invention peut être adapté pour se borner à la seule étape de recherche grossière entre fichiers. On peut donc résumer les étapes prévues comme suit :

- calcul d'une signature numérique par fichier à comparer,
- et comparaison des signatures numériques à la recherche d'extraits communs de signatures numériques.

On va montrer dans ce qui suit comment on peut se définir un critère de détection d'extrait commun à l'aide de probabilités.

On a montré précédemment, dans le cadre de l'optimisation de la valeur du rapport d'index, que le nombre d'opérations de comparaison pour effectuer la recherche entre signatures numériques est estimé à :

$$\text{Total1} = [(TF1 \times TF2) / k^2] \times [1 + (PSIx(1 - PSD^{(TES-1)}) / (1 - PSD))]$$

On a également montré que la probabilité de tirage d'un extrait commun de signatures numériques vaut $PSIxPSD^{(TES-1)}$.

Le nombre probable d'extraits communs de taille minimale TEF qui sera trouvé par la comparaison entre eux de deux fichiers de tailles respectives TF1 et TF2 devient donc:

$$N = [(TF1 \times TF2) / k^2] \times PSIxPSD^{(TES-1)}, \text{ avec} \\ TES = \text{partie entière de } [(TEF - I1 - I2 + 1) / k] - 1$$

L'optimisation de la valeur de k dépend du compromis entre la vitesse de recherche (inversement proportionnelle à Total1) qui croît quand k augmente (on a donc intérêt à utiliser des valeurs élevées pour k) et le nombre N qui croît quand k augmente (on doit donc baisser la valeur de k si l'on veut limiter le nombre d'extraits communs probables détectés).

L'optimisation de la valeur de k est faite en se fixant à l'avance une valeur cible Nc pour N et une valeur de taille minimale d'extrait à trouver TEF. A partir de ces paramètres, on évalue la valeur de N pour toutes les valeurs autorisées de k et on retient la valeur de k qui permet d'approcher au mieux la valeur Nc.

Cette méthode de recherche introduit une imprécision sur les positions de début des extraits communs probables trouvés. Dans le cas d'une recherche d'extraits communs entre une signature floue et une signature binaire (correspondant à un mode de réalisation préféré), l'imprécision sur la position de début de l'extrait commun probable de fichiers est de l'ordre

de +k ou -k sur le fichier associé à la signature floue, et de l'ordre de +k ou -2k sur le fichier associé à la signature binaire.

La probabilité effective de détection d'un extrait commun de signatures numériques peut être approchée par une analyse des variations prises par les états de l'extrait sur la signature floue.

- 5 Avantageusement, la réalisation préférée évalue une probabilité plafond en détectant le nombre transitions intervenant entre données à l'état 0 et à l'état 1, ce qui permet de filtrer du résultat de recherche les extraits communs dont la probabilité mesurée est supérieure à un seuil prédéfini, et ainsi d'éviter de mettre en défaut le modèle de probabilité statistique ($\text{PSIXPSD}^{(\text{IBS-1})}$) utilisé pour optimiser les paramètres de recherche.

10

Dans le cas des fichiers audio, la recherche d'extraits audio communs à deux fichiers d'enregistrement se résume donc comme suit. On commence par un calcul préalable de signatures numériques associées à chaque fichier. A l'issue de cette première étape, on peut assimiler un fichier de signature numérique comme étant une succession d'états logiques qui

15 caractérisent des plages horaires consécutives de durée fixe du signal audio. Typiquement, si l'on choisit une durée de plage horaire d'une seconde pour chaque donnée de signature numérique, le traitement d'un fichier audio d'une heure se traduit par la création d'un fichier de signatures numériques de 3600 données (une par seconde). La première donnée de signature caractérise la première seconde d'enregistrement, la deuxième donnée la deuxième seconde, et

20 ainsi de suite.

La recherche d'extraits audio communs s'effectue ensuite en comparant entre elles les données de signatures numériques qui ont été calculées à partir de chaque enregistrement audio. Tout extrait commun est caractérisé par un couple de groupes de N données consécutives de

25 signatures numériques (le premier groupe de données de signatures étant associé au premier fichier audio et le deuxième groupe étant associé au deuxième fichier audio) et pour lesquels il y a une compatibilité entre les N états de logique flou consécutifs du premier groupe avec les N états de logique flou consécutifs de deuxième groupe.

- 30 L'adresse de la première donnée de signature numérique du premier groupe G1 permet de repérer la position horaire de début d'extrait commun dans le premier fichier audio. L'adresse de la première donnée de signature numérique du deuxième groupe G2 permet de repérer la position horaire de début d'extrait commun dans le second fichier audio. Le nombre N (de

données consécutives trouvées en relation) permet de déduire la durée de l'extrait trouvé par simple multiplication avec la durée des plages horaires associées à chaque donnée de signature numérique.

- 5 Par exemple, dans l'hypothèse où l'on aurait calculé des signatures numériques sur un premier fichier audio1 d'une heure et sur un second fichier audio2 d'une heure en se fixant une durée de plage horaire de 1 seconde par donnée de signature numérique, dans le cas où le résultat de la recherche donnerait un extrait commun de signatures numériques de 20 données consécutives repéré par l'adresse 100 sur la signature 1 et par l'adresse 620 sur la signature 2, ce résultat de
10 recherche se traduirait par un extrait commun audio d'une durée de 20 secondes repéré par un horaire de début de 1minute 40 secondes sur le fichier audio1 et par un horaire de début de 10 minutes 20 secondes sur le fichier audio2.

- Contrairement à la recherche d'extraits à l'identique dans des fichiers texte, il n'y a pas d'autres
15 étape dans le traitement qui permette de lever le doute sur l'identification des extraits qui sont relevés à l'étape de comparaison des signatures numériques. L'algorithme mathématique qui est utilisé pour le calcul des signatures numériques garantit que si il existe un extrait commun entre les deux fichiers audio, un extrait commun sera alors détecté entre les signatures numériques. Toutefois, la condition réciproque est fausse : il y a une possibilité de détecter des
20 extraits communs de signatures numériques qui ne correspondent pas à des extraits communs audio.

- Afin de disposer d'un indice de confiance sur les résultats de recherche, le traitement utilise un modèle de probabilité qui permet de calculer un taux d'erreur de fausses détections. Le modèle
25 consiste à calculer la probabilité de mise en correspondance d'un groupe de N données consécutives de signatures numériques représentatif d'un extrait audio avec un autre groupe de N données consécutives de signatures numériques dont les valeurs sont aléatoires et représentative d'un signal audio aléatoire.

- 30 La probabilité $P(N)$ de détection d'un extrait commun de N données de signatures numériques s'exprime alors sous une forme $P \exp(N)$, P étant la probabilité de tirage d'un extrait commun de taille 1. Dans la pratique, et compte tenu de l'emploi simultané de plusieurs états de logique flou, P est inférieure à 1/2 et on majore donc $P(N)$ par $1/2 \exp(N)$. Sachant que l'on peut

approximer 2^{10} par 10^3 , on déduit facilement la probabilité de fausse détection d'un extrait commun de N données: $P(10) < 10^{-3}$, $P(20) < 10^{-6}$, ...

5 Pour évaluer le nombre probable de fausses détections qui sera associé à la comparaison de deux fichiers audio, il faut multiplier cette valeur $P(N)$ par le nombre total de couples de positions de début d'extraits de signatures numériques qui est testé lors de l'étape de comparaison des signatures numériques. Si l'on prend S1 comme notation du nombre de données de signatures numériques du fichier audio1 et S2 pour le fichier audio2, le nombre probable de fausses détections devient $P(N) \times S1 \times S2$.

10

Comme indiqué plus haut, ce nombre est divisé par 2, chaque fois que l'on augmente de 1 la taille des extraits communs de signatures numériques recherchés (et divisé par 1000 si l'on augmente la taille de 10).

15

Pour affiner l'algorithme de détection d'extraits musicaux, on a ajusté la taille minimale d'extrait commun de signatures à 50 données ce qui garantit une probabilité de fausse détection inférieure à 10^{-15} . Ce choix tient compte du caractère non aléatoire des signaux audio traités, qui dans le cas de la musique comportent de nombreuses plages répétitives (refrains, et autres). Cette taille peut bien sûr être adaptée au besoin d'autres applications, soit pour augmenter, soit

20

A partir cette taille minimale d'extrait, le programme détermine à rebours la durée minimale des extraits à rechercher en fonction de la valeur de durée associée à chaque donnée de signature (l'inverse de la fréquence des données de signatures).

25

Pour une fréquence de signature numérique de 25 Hz (25 données par secondes), le programme permet de rechercher des extraits audio d'une durée minimale de 2 secondes ($50 \times 1/25s$). Pour une fréquence de signature numérique de 5 Hz (5 données par secondes), le programme permet de rechercher des extraits audio d'une durée minimale de 10 secondes ($50 \times 1/5s$). Pour une fréquence de signature numérique de 1 Hz (1 donnée par secondes), le

30

programme permet de rechercher des extraits audio d'une durée minimale de 50 secondes.

Dans la pratique, c'est l'application qui fixe la valeur seuil de durée minimale d'extrait audio à rechercher. Pour des applications de piges publicitaires, le besoin est de détecter des extraits de spots de télévision ou de radio de l'ordre de 5 s. Pour des applications de reconnaissance de titres musicaux, le besoin est de détecter des extraits de l'ordre 15 s. Pour des applications de reconnaissance de programmes de télévision (films, séries, etc), le besoin est de détecter des extraits de l'ordre de la minute.

On indique en outre que dans l'application à des fichiers audio, vidéo, ou autres, où les premier et second fichiers sont des fichiers d'échantillons de signaux numérisés, le procédé au sens de l'invention comporte avantageusement une étape de pré-traitement des données, par exemple par filtrage en sous-bandes, et une prise en compte des données associées à des portions de signal de niveau supérieur à une référence de bruit, pour limiter des effets d'égalisations différentes entre les premier et second fichiers.

En outre, le procédé prévoit avantageusement une étape de consolidation des résultats de recherche, préférentiellement par ajustement de tailles relatives des paquets des premier et second fichiers, de manière à tolérer un écart en vitesses de restitution respectives des premier et second fichiers.

Enfin, on indique que l'un au moins des premier et second fichiers peut être, dans cette application, un flux de données, et le procédé de recherche d'extraits communs est alors exécuté en temps réel.

Un programme spécifique, écrit en langage C++, a été développé pour effectuer la recherche d'extraits communs avec des micro-ordinateurs équipés d'un système d'exploitation Windows 32bits. Il propose de sélectionner deux fichiers à comparer, de définir la taille minimale des extraits communs à y trouver, puis de lancer la recherche.

Dès le lancement de la recherche, le programme affiche avantageusement une fenêtre de suivi d'exécution. Cette fenêtre indique le temps écoulé depuis le début de la recherche et des estimations de la durée totale et de la vitesse de recherche. Elle permet également d'abandonner la recherche si il s'avère que sa durée est jugée trop longue. La recherche s'interrompt dès qu'un extrait commun a été trouvé. La taille de l'extrait trouvé et sa position dans chaque fichier sont alors affichés. Le programme effectue l'analyse des fichiers en

suivant un ordre prédéfini. Le principe est de tester chaque couple de positions de début pouvant être pris par un extrait commun dans les fichiers.

Sa mise en œuvre est décrite dans les présentations ci-après des algorithmes de recherche. On indique que la recherche peut être reprise pour trouver d'autres extraits communs aux fichiers.

5 Dans ce cas, la recherche est reprise à partir du couple de positions de début du dernier extrait commun trouvé et en suivant l'ordre prédéfini d'analyse des fichiers. La recherche s'arrête quand les fichiers ont été entièrement analysés. Les conditions de l'arrêt sont alors affichées pour indiquer selon le cas qu'il n'y a pas d'extrait commun aux fichiers ou qu'il n'y a pas d'autre extrait commun aux fichiers.

10 Le programme propose d'utiliser au choix deux algorithmes pour effectuer des recherches : un algorithme de recherche classique et un algorithme au sens de l'invention.

Le programme permet ainsi de comparer sur un même micro-ordinateur les performances des deux algorithmes, et ce, pour une configuration de recherche quelconque, en termes de taille minimale des extraits communs à rechercher, de taille des fichiers, de nature des fichiers, ou autres.

15 Le critère d'évaluation des performances est la rapidité d'exécution des algorithmes. Les fenêtres de suivi d'exécution permettent de récupérer les estimations telles que la durée d'exécution pour accomplir la recherche, la vitesse de recherche, et autres.

Il est apparu avec l'algorithme classique que la vitesse de recherche est pratiquement constante et ne dépend pas de la taille minimale des extraits communs à trouver. Elle s'exprime en nombre d'opérations de comparaison de données binaires (octets) par seconde qui sont effectuées par l'ordinateur. Sa valeur est toujours inférieure à la fréquence d'horloge du microprocesseur.

20 En revanche, avec l'algorithme au sens de l'invention, la vitesse de recherche varie en fonction de la taille minimale des extraits communs à trouver. Elle s'exprime par une estimation du nombre d'opérations de comparaison de données binaires (octets) par seconde qui seraient effectuées par l'ordinateur si l'algorithme classique était utilisé. Ainsi, plus la taille minimale des extraits communs à trouver augmente, plus la vitesse augmente. Sa valeur peut dépasser celle de la fréquence d'horloge du microprocesseur.

30

On a représenté sur la figure 19A une copie d'écran d'une boîte de dialogue dans le cadre d'une interface homme machine d'un programme informatique au sens de l'invention, pour une recherche, à l'identique, d'extraits communs entre deux fichiers textes. La figure 19B

représente une copie d'écran indiquant l'évolution de la recherche définie sur la page d'écran de la figure 19A. On constatera que le temps pris par cette recherche est de deux secondes, alors que les tailles des fichiers étaient respectivement de 85390 octets et 213275 octets (figure 19A).

5

On a représenté sur la figure 19C une copie d'écran pour une recherche d'extraits communs entre deux fichiers audio, au format .WAV. Comme indiqué ci-avant, il s'agit préférentiellement d'une recherche qui n'est pas à l'identique, mais dont les paramètres (desquels découle en particulier l'indice de confiance décrit ci-avant) sont déterminés dans cette boîte de dialogue (partie supérieure de la figure 19C). Ici, on dispose d'un enregistrement d'une heure de radio (103,9 MHz en FM à Paris), d'une part, et une base de 244 enregistrements sonores (musique, spots publicitaires, etc), d'autre part. La recherche a détecté 83 extraits communs de la base dans l'enregistrement radio.

10

La figure 19D représente enfin une copie d'écran pour la création de fichier de signature numérique élaboré à partir d'un traitement en temps réel de signaux audio, correspondant à un enregistrement radio (105,5 MHz à Paris) de deux heures de durée, à une fréquence d'échantillonnage de 22,050 kHz. On indique que la précision de la signature (ici choisie à 5Hz, parmi un choix de 2, 5 ou 25Hz) correspond au nombre de données dans la signature numérique, par seconde de morceau de musique. Ce paramètre permet notamment d'affiner la précision de l'instant de début de détection d'extraits communs.

15

20

On a représenté sur la figure 18 le contexte d'une autre application de la présente invention, en particulier à la mise à jour à distance de l'un des premier et second fichiers par rapport à l'autre des premier et second fichiers. On prévoit à cet effet une installation informatique, comportant :

25

- une première entité informatique PC1 propre à stocker le premier fichier,
- une seconde entité informatique PC2 propre à stocker le second fichier, et
- des moyens de communications COM entre les première PC1 et seconde PC2 unités informatiques.

30

L'une des entités au moins (PC1 et/ou PC2) comporte une mémoire (respectivement MEM1 et/ou MEM2) propre à stocker le produit programme d'ordinateur tel que décrit ci-avant, pour la recherche d'extrait commun entre les premier et second fichiers.

A ce titre, la présente invention vise aussi une telle installation.

Ici, l'entité stockant ce produit programme d'ordinateur est alors capable d'effectuer une mise à jour à distance de l'un des premier et second fichiers par rapport à l'autre des premier et second fichiers, en comparant déjà les premier et second fichiers. Ainsi, l'une des entités peut avoir fait évoluer un fichier informatique par des nouvelles saisies de données ou autres modifications dans une certaine période (une semaine, un mois, ou autre). L'autre entité informatique, qui dans cette application, doit assurer le stockage et la mise à jour régulière des fichiers issus de la première entité, reçoit ces fichiers.

Plutôt que de transférer complètement les fichiers à mettre à jour de la première entité vers la deuxième entité, la première entité repère par le procédé au sens de l'invention les extraits de données qui sont communs entre deux versions d'un même fichier, la nouvelle version qui a été modifiée par ajout ou par suppression de données, et l'ancienne version qui a été préalablement transmise à l'autre entité et dont la première entité a conservé localement une sauvegarde. Cette comparaison au sens de l'invention permet de créer un fichier de différences entre la nouvelle version et l'ancienne version du fichier qui comporte des informations de position et de taille des extraits communs de données qui peuvent être utilisés pour reconstruire partiellement la nouvelle version du fichier à partir des données de l'ancienne version du fichier, et qui comporte les compléments de données qui doivent être utilisés pour achever la reconstruction de la nouvelle version de fichier. La mise à jour du fichier s'effectue ensuite en procédant par une transmission du fichier de différences vers la deuxième entité, puis en appliquant ensuite un traitement local à la deuxième entité de reconstruction de la nouvelle version du fichier par combinaison de l'ancienne version du fichier et dudit fichier de différences.

L'application du procédé au sens de l'invention permet de réduire considérablement les temps de traitement nécessaires à la génération dudit fichier de différences et permet de réduire le volume des données à transférer (et donc les coût et temps de transfert) pour effectuer la mise à jour à distance de fichiers informatiques volumineux n'ayant subi que peu de modifications, notamment lorsque de tels fichiers comportent des données comptables, bancaires ou autres.

Les entités informatiques peuvent se présenter sous la forme de tout dispositif informatique (ordinateur, serveur, ou autre) comportant une mémoire pour stocker (au moins momentanément) les premier et second fichiers, pour la recherche d'au moins un extrait

commun entre le premier fichier et le second fichier. Ils sont alors équipés d'une mémoire stockant aussi les instructions d'un produit programme d'ordinateur du type décrit ci-avant.

A ce titre, la présente invention vise aussi un tel dispositif informatique.

- 5 Elle vise aussi un produit programme d'ordinateur, destiné à être stocké dans une mémoire d'une unité centrale d'un ordinateur tel que le dispositif informatique précité ou sur un support amovible destiné à coopérer avec un lecteur de cette unité centrale. Ce produit programme comporte des instructions pour dérouler tout ou partie des étapes du traitement au sens de l'invention décrit ci avant.

10

La présente invention vise aussi une structure de données destinées à être utilisées pour une recherche d'au moins un extrait commun entre un premier et un second fichier, la structure de données étant représentative du premier fichier, dès lors que cette structure de données est obtenue par l'application du traitement au sens de l'invention pour former une signature

15

numérique. En particulier, cette structure de données est obtenue par la mise en œuvre des étapes a) et b) du procédé énoncé ci-avant et comporte une succession d'adresses identifiant des adresses du premier fichier et à chacune desquelles est affecté un état en logique floue parmi les états : "vrai" (1), "faux" (0) et "indéterminé" (?).

Revendications

1. Procédé de recherche de contenu, dans lequel on recherche au moins un extrait commun entre un premier fichier et un second fichier, sous forme de données binaires, caractérisé en ce qu'il comporte une préparation préalable du premier fichier au moins, comprenant les étapes suivantes :
- 5 a) segmenter le premier fichier en une succession de paquets de données, de taille choisie, et identifier des adresses de paquets dans ledit fichier,
- 10 b) associer à l'adresse de chaque paquet une signature numérique définissant un état en logique floue parmi au moins trois états : "vrai", "faux" et "indéterminé", ladite signature résultant d'un calcul combinatoire sur des données issues dudit fichier,
- et en ce que le procédé se poursuit par une recherche d'extrait commun, proprement dite, comprenant les étapes suivantes :
- 15 c) comparer les états de logique floue associés à chaque adresse de paquet du premier fichier, avec des états de logique floue déterminés à partir de données issues du second fichier,
- d) éliminer de ladite recherche d'extrait commun des couples d'adresses respectives des premier et second fichiers dont les états logiques respectifs sont "vrai" et "faux" ou "faux" et "vrai", et conserver les autres couples d'adresses identifiant des paquets de données susceptibles de comporter ledit extrait commun.
- 20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, à l'étape b), on affecte à un paquet de données l'état :
- "vrai" si toutes les données du paquet vérifient une première condition,
 - "faux" si toutes les données du paquet vérifient une seconde condition, contraire à la
 - 25 première condition,
 - et "indéterminé" si certaines données du paquet vérifient la première condition, tandis que d'autres données du paquet vérifient la seconde condition.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'on applique aux
- 30 données d'un fichier un traitement préalable à l'étape b) et comportant les étapes suivantes :
- a1) on considère les données du fichier en tant que suite d'échantillons obtenus à une fréquence d'échantillonnage prédéterminée (F_e), et de valeurs codées selon un code de représentation binaire, et

a2) on applique un filtre numérique sur lesdits échantillons (f_n), adapté pour minimiser une probabilité d'obtention de l'état "indéterminé" pour les signatures numériques associées aux paquets d'échantillons.

5 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'application dudit filtre numérique revient à :

- appliquer une transformée spectrale aux données échantillonnées,
- appliquer un filtre passe-bas à ladite transformée spectrale,
- et appliquer une transformée spectrale inverse après ledit filtre passe-bas.

10

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le filtre passe-bas opère sur une bande de fréquences comprenant sensiblement l'intervalle :

$$[-F_e/2(k-1), +F_e/2(k-1)],$$

où F_e est ladite fréquence d'échantillonnage,

15

et k est le nombre d'échantillons que comporte un paquet.

6. Procédé selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que ledit filtre numérique comporte un nombre prédéterminé de coefficients de même valeur,

et en ce que la réponse fréquentielle du filtre passe-bas associé s'exprime, en fonction de la

20

fréquence f , par une expression du type :

$$\sin(\text{PI} \cdot f \cdot T) / (\text{PI} \cdot f \cdot T),$$

où $\sin()$ est la fonction sinus, et avec :

- $\text{PI} = 3,1416$, et
- $T = (K-1)/F_e$ où K est ledit nombre prédéterminé de coefficients et F_e ladite fréquence

25

d'échantillonnage.

7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que ledit filtre numérique est un filtre à valeur moyenne d'un nombre prédéterminé $(2K+1)$ de coefficients, et en ce que la différence entre deux échantillons filtrés successifs ($x_{n+1} - x_n$) est proportionnelle à la différence

entre deux échantillons non filtrés ($f_{n+K+1} - f_{n,K}$), respectivement d'un premier rang et d'un second

30 rang, espacés dudit nombre prédéterminé de coefficients, et en ce que le calcul desdits échantillons filtrés est effectué en exploitant cette relation pour réduire le nombre d'opérations de calcul à effectuer.

8. Procédé selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que ledit nombre prédéterminé de coefficients du filtre $(2K+1)$ est supérieur ou égal à $2k-1$, où k est le nombre d'échantillons que comporte un paquet.

5

9. Procédé selon l'une des revendications 3 à 8, prises en combinaison avec la revendication 2, caractérisé en ce que :

- l'état "vrai" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, tous les échantillons filtrés ont une valeur supérieure à une valeur de référence choisie (Vréf),
- 10 - l'état "faux" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, tous les échantillons filtrés ont une valeur inférieure à une valeur de référence choisie (Vréf), et
- l'état "indéterminé" est affecté à l'adresse d'un paquet si, pour ce paquet, les échantillons filtrés ont, pour certains, une valeur inférieure à ladite valeur de référence (Vréf), et, pour d'autres échantillons filtrés, une valeur supérieure à ladite valeur de référence (Vréf).

15

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, pour tout échantillon filtré r_n , d'ordre donné n , ladite valeur de référence (Vréf) est calculée en moyennant les valeurs des échantillons non filtrés f_k , sur un nombre choisi d'échantillons consécutifs non filtrés ($K_{réf}$) autour d'un échantillon non filtré f_n , du même ordre donné n .

20

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que les valeurs des échantillons filtrés sont ramenées, pour comparaison, à une valeur seuil nulle, et en ce que lesdits échantillons filtrés r'_n s'expriment par une somme du type :

$$r'_n = K_{ref} \sum_{k=-(K/2)}^{(K/2)-1} f_{n+k} - K \sum_{k=-(K_{ref}/2)}^{(K_{ref}/2)-1} f_{n+k}, \text{ où :}$$

- 25 - f_{n+k} sont des échantillons non filtrés obtenus à l'étape a1),
- K est le nombre de coefficients du filtre numérique, préférentiellement choisi pair, et
- K_{ref} est ledit nombre d'échantillons non filtrés autour d'un échantillon non filtré f_n , préférentiellement choisi pair et supérieur audit nombre de coefficients K .

30

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'on applique ladite somme aux échantillons non filtrés f_n une pluralité de fois, selon un traitement effectué en parallèle, en faisant varier respectivement le nombre de coefficients K .

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les états flous associés au premier fichier au moins sont codés chacun sur au moins deux bits.

- 5 14. Procédé selon la revendication 13, prise en combinaison avec la revendication 12, caractérisé en ce que les états flous déterminés pour un nombre de coefficients K le plus faible sont codés sur des bits de poids le plus faible et les états flous déterminés pour un nombre de coefficients K plus grand sont codés sur des bits suivants, jusqu'à un nombre total choisi de bits.

10

15. Procédé selon l'une des revendications 3 et 10, caractérisé en ce que chaque échantillon filtré r_n s'exprime comme une somme du type :

$$r_n = \sum_{l=-I_1}^{I_2} \text{filtre}_l \times f_{(n+l)}, \text{ où :}$$

- 15 - $f_{(n+l)}$ sont des échantillons non filtrés,
 - filtre_l sont des coefficients d'un filtre numérique, intégrant, le cas échéant, une valeur seuil ramenée à zéro,

et en ce que l'on choisit un nombre k d'échantillons non filtrés que comporte un paquet, au minimum égal à 2 et inférieur ou égal à une expression du type :

$(\text{TEF} - I_1 - I_2 + 1)/2$, où TEF est une taille minimale souhaitée des extraits communs recherchés.

20

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que :

- pour une valeur donnée TEF de la taille minimale souhaitée d'extraits communs recherchés, on détermine une plage de valeurs utilisables pour ledit nombre k d'échantillons non filtrés que comporte un paquet,
 25 - et, pour chaque valeur utilisable du nombre k, on détermine une taille optimale TES d'une succession de données de signatures numériques pour laquelle la détection d'un extrait commun de taille TEF est garantie,

et en ce que ladite taille optimale TES est inférieure ou égale à une expression du type : $E[(\text{TEF} - I_1 - I_2 + 1)/k] - 1$, où $E(X)$ désigne la partie entière de X.

30

17 Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les deux fichiers à comparer comportent des données représentatives de caractères alphanumériques, notamment du texte et/ou un code informatique ou génétique, caractérisé en ce que le procédé comporte :

- 5 - un premier groupe d'étapes comportant la formation des signatures numériques et leur comparaison, pour une recherche grossière, et
- un second groupe d'étapes comportant une comparaison à l'identique dans les plages d'adresses vérifiant la comparaison grossière,

10 en ce que l'on considère les données d'un fichier en tant que suite d'échantillons, avec un nombre choisi k d'échantillons par paquet, et en ce que la valeur de ce nombre choisi k est optimisée initialement en recherchant un minimum d'opérations de comparaison à effectuer.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que, pour l'optimisation du nombre choisi k d'échantillons par paquet, on tient compte d'un nombre total :

- d'opérations de comparaison de signatures numériques à effectuer, et
 - d'opérations de comparaison de données à l'identique à effectuer ensuite,
- et en ce que ledit nombre total d'opérations est minimum pour un ensemble fini de nombres k .

20 19. Procédé selon l'une des revendications 17 et 18, caractérisé en ce que l'on obtient une information relative à une taille minimale souhaitée d'extraits communs recherchés (TEF), utilisée pour optimiser ledit nombre choisi k d'échantillons par paquet, et en ce que le nombre optimal k d'échantillons par paquet varie sensiblement comme ladite taille minimale (TEF), de sorte que plus la taille minimale souhaitée d'extraits communs
25 recherchés est grande et plus la durée de la recherche d'extrait commun est courte.

20. Procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la recherche d'extraits communs consiste en un unique groupe d'étapes comportant la formation des signatures numériques et leur comparaison, et en ce que le nombre de données par paquet est optimisé en
30 se fixant initialement un indice de confiance caractérisant un seuil acceptable de probabilité de fausse détection d'extraits communs.

21. Procédé selon l'une des revendications 3 à 20, caractérisé en ce que, pour le premier fichier :

- on applique l'échantillonnage à une fréquence d'échantillonnage choisie,
- le filtrage numérique correspondant à un filtrage passe-bas dans l'espace des fréquences, et
- 5 - la combinaison des échantillons filtrés pour obtenir des signatures numériques à l'état "vrai", "faux" ou "indéterminé", associées aux adresses respectives du premier fichier,

tandis que, pour le second fichier :

- on applique l'échantillonnage à une fréquence d'échantillonnage choisie,
 - le filtrage numérique correspondant à un filtrage passe-bas dans l'espace des fréquences, et
 - 10 - on détermine l'état logique associé à chaque paquet d'échantillons filtrés à partir de l'état logique associé à un seul échantillon filtré choisi dans chaque paquet,
- de manière à obtenir des signatures numériques ne comportant que des états logiques "vrai" ou "faux" et ainsi à améliorer la sélectivité de la comparaison des signatures numériques.

15 22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que :

- si l'état logique associé à une adresse du premier fichier est "vrai" ou "indéterminé", tandis que l'état logique associé à une adresse du second fichier est "vrai", le couple desdites adresses est retenu pour la recherche d'extrait commun,
 - si l'état logique associé à une adresse du premier fichier est "faux" ou "indéterminé", tandis
 - 20 que l'état logique associé à une adresse du second fichier est "faux", le couple desdites adresses est retenu pour la recherche d'extrait commun,
- tandis que les autres couples d'adresses sont exclus de la recherche.

23. Procédé selon la revendication 20, dans lequel les premier et second fichiers sont des
25 fichiers d'échantillons de signaux numérisés, caractérisé en ce que le procédé comporte une étape de pré-traitement des données et une prise en compte des données associées à des portions de signal de niveau supérieur à une référence de bruit.

24. Procédé selon l'une des revendications 20 et 23, dans lequel les premier et second fichiers
30 sont des fichiers d'échantillons de signaux numérisés, caractérisé en ce que le procédé prévoit une étape de consolidation des résultats de recherche, préférentiellement par ajustement de tailles relatives des paquets des premier et second fichiers, de manière à tolérer un écart en vitesses de restitution respectives des premier et second fichiers.

25. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des premier et second fichiers est un flux de données, et en ce que le procédé de recherche d'extraits communs est exécuté en temps réel.

5

26. Produit programme d'ordinateur, destiné à être stocké dans une mémoire d'une unité centrale d'un ordinateur ou sur un support amovible destiné à coopérer avec un lecteur de ladite unité centrale, caractérisé en ce qu'il comporte des instructions pour dérouler tout ou partie des étapes du procédé selon l'une des revendications précédentes.

10

27. Structure de données destinées à être utilisées pour une recherche d'au moins un extrait commun entre un premier et un second fichier, la structure de données étant représentative du premier fichier,

15

caractérisée en ce qu'elle est obtenue par la mise en œuvre des étapes a) et b) du procédé selon l'une des revendications 1 à 25, et en ce qu'elle comporte une succession d'adresses identifiant des adresses du premier fichier et à chacune desquelles est affecté un état en logique floue parmi les états : "vrai", "faux" et "indéterminé".

20

28. Dispositif informatique, comportant une mémoire pour stocker au moins des premier et second fichiers, pour la recherche d'au moins un extrait commun entre le premier fichier et le second fichier, caractérisé en ce qu'il comporte une mémoire propre à stocker les instructions d'un produit programme d'ordinateur selon la revendication 26.

25

29. Installation informatique, comportant :

- une première entité informatique propre à stocker un premier fichier,
- une seconde entité informatique propre à stocker un second fichier, et
- des moyens de communications entre les première et seconde unités informatiques,

30

caractérisée en ce que l'une des entités au moins comporte une mémoire propre à stocker le produit programme d'ordinateur selon la revendication 26, pour la recherche d'extrait commun entre les premier et second fichiers.

30. Installation selon la revendication 29, caractérisé en ce que l'entité stockant le produit programme d'ordinateur est agencée pour effectuer une mise à jour à distance de l'un des premier et second fichiers par rapport à l'autre des premier et second fichiers.

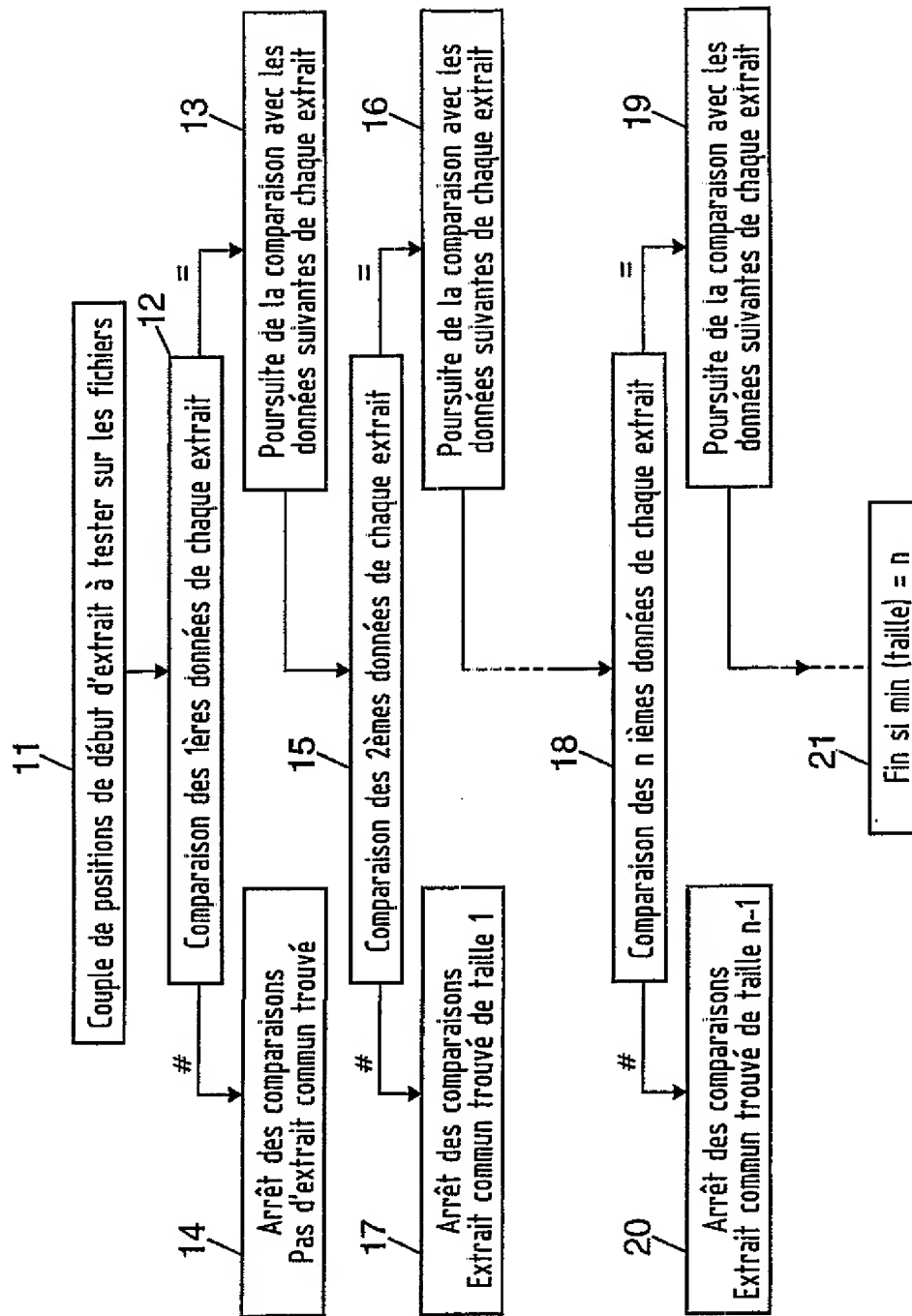


FIG. 1

2/17

Diagram illustrating a grid structure (FIG. 2A) with labels P0, A1, A2, F, Pf, and (m,n).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0										
1										
2										
3										
4										
5										

FIG. 2A

Diagram illustrating a grid structure (FIG. 2B) with labels A1, A2, and shaded cells.

		D	e	s		m	o	u	t	o	n	s
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U	0											
n	1											
	2											
m	3											
o	4											
u	5											
t	6											
o	7											
n	8											

FIG. 2B

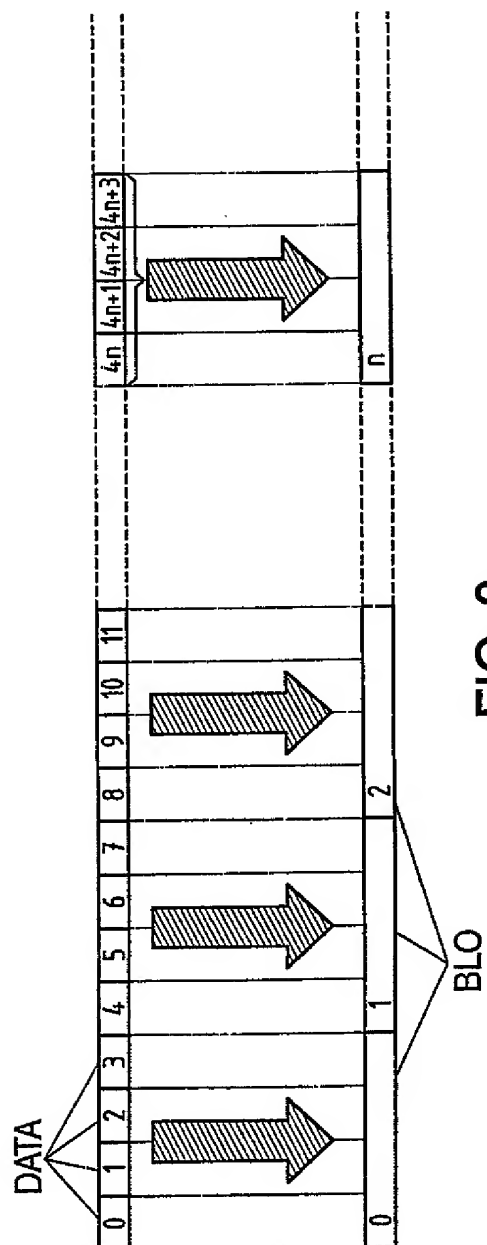


FIG. 3

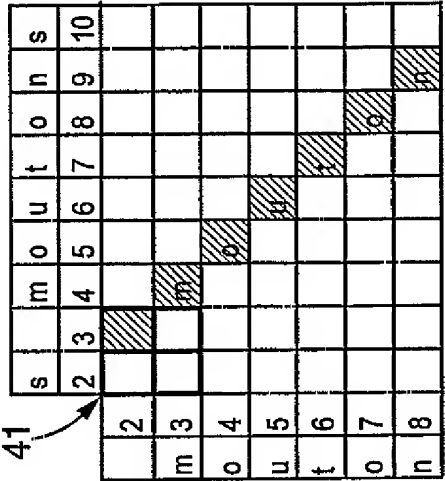


FIG. 4B

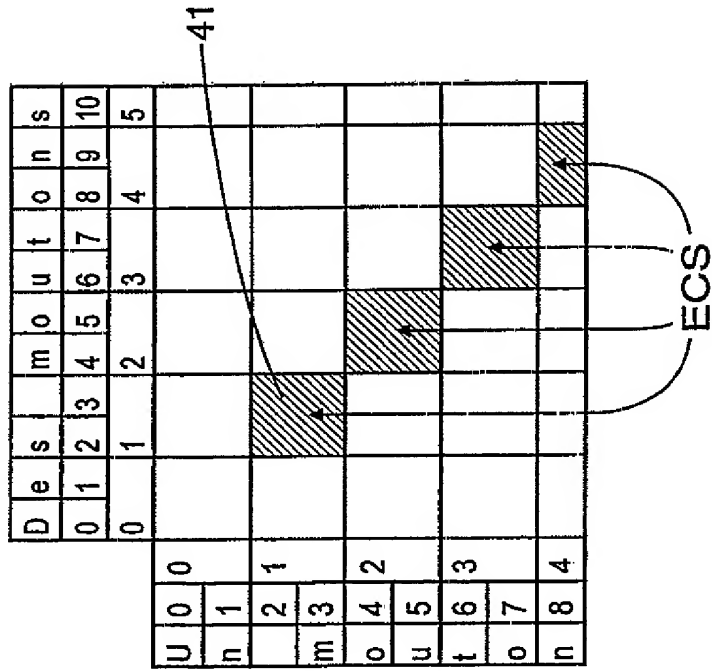


FIG. 4A

OU logique	0	1
0	0	1
1	1	1

FIG. 5A

ET logique	0	1
0	0	0
1	0	1

FIG. 5B

	B0	B1
0	1	0
1	0	1
?	1	1
X	0	0

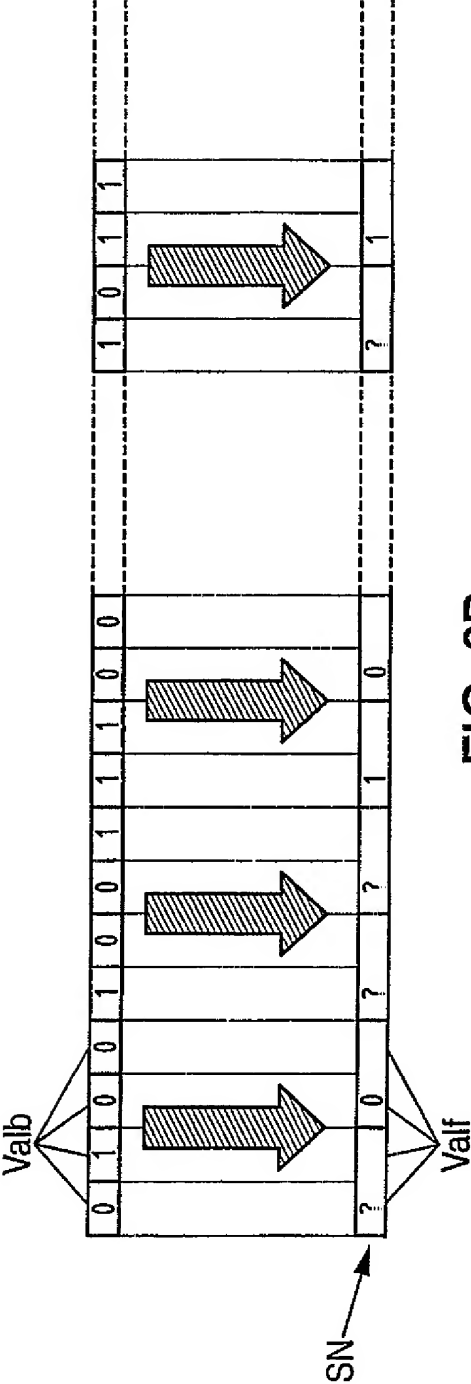
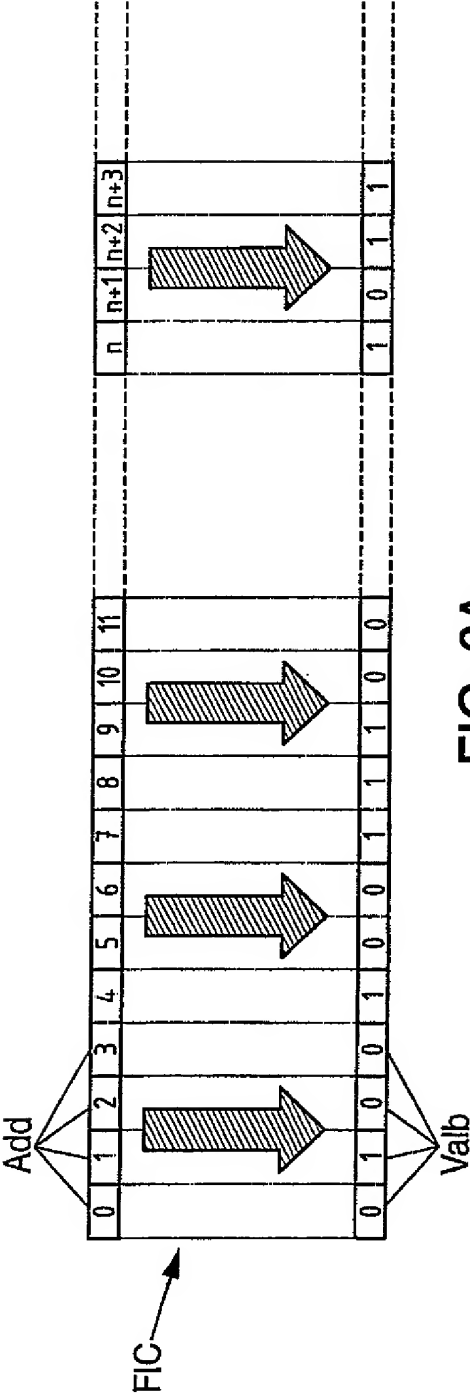
FIG. 5C

OU logique	0	1	?	X
0	0	?	?	0
1	?	1	?	1
?	?	?	?	?
X	0	1	?	X

FIG. 5D

ET logique	0	1	?	X
0	0	X	0	X
1	X	1	1	X
?	0	1	?	X
X	X	X	X	X

FIG. 5E



7/17

Caractères	L	a		t	o	r	t	u	e
Nombre entier du code ASCII	76	97	32	116	111	114	116	117	101
Adresses des données	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Etats binaires	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Etats flous (rapport d'index de 2)	0		?		1		1		0
Etats flous avec un rapport d'index de 3	0			1			?		
Etats flous avec un rapport d'index de 4	?				1				0

FIG. 7A

L	e		l	i	è	v	r	e
76	101	32	108	105	232	118	114	101
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	1	1	1	0
0		0		?		1		0

L	a		t	o	r	t	u	e
76	97	32	116	111	114	116	117	101
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	1	1	1	1	1	0
0		?		1		1		0

FIG. 7B

	L	a		t	o	r	t	u	e
AD1	0		1		2		3		4
SN1	0		?		1		1		0
L	0	0							
e									
	1	0							
l									
i	2	?							
è									
v	3	1							
r									
e	4	0							

FIG. 7C

8/17

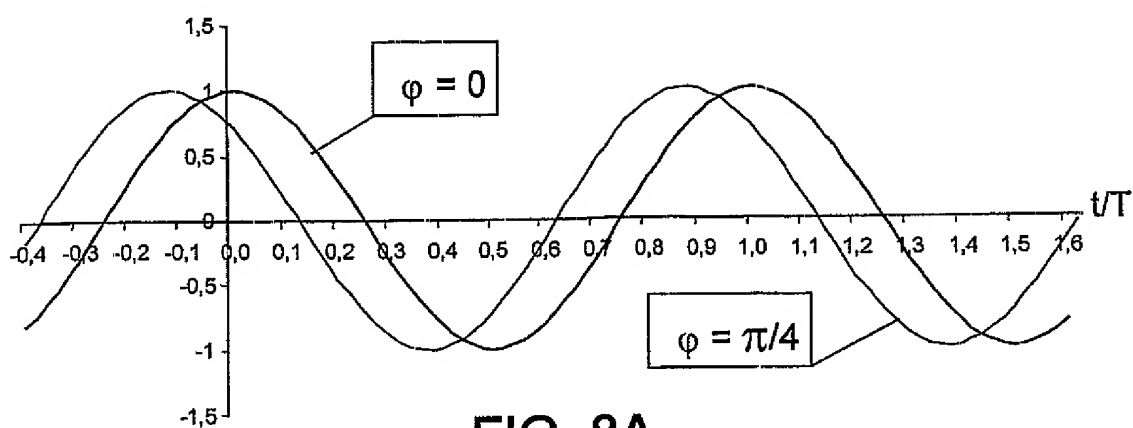


FIG. 8A

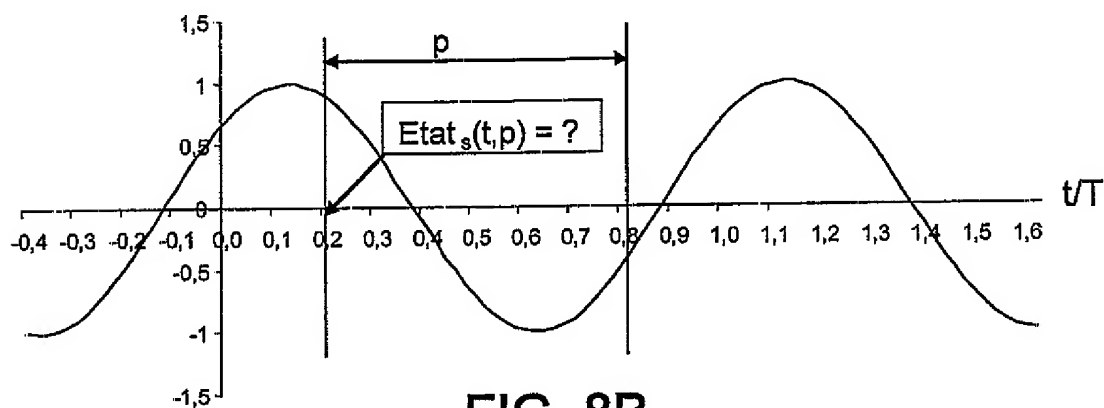


FIG. 8B

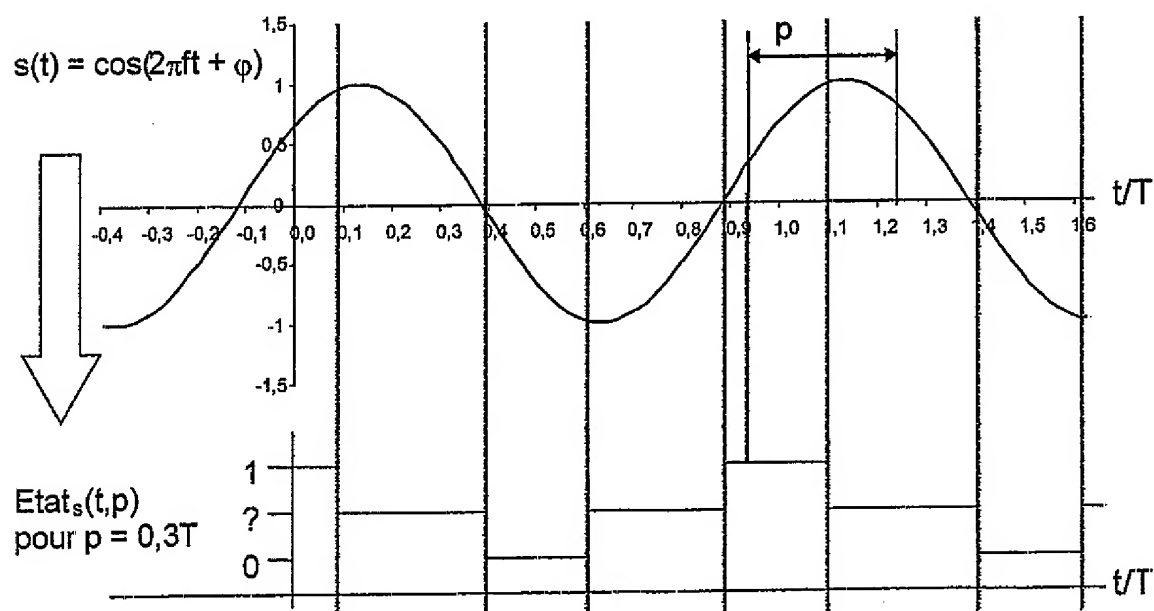


FIG. 8C

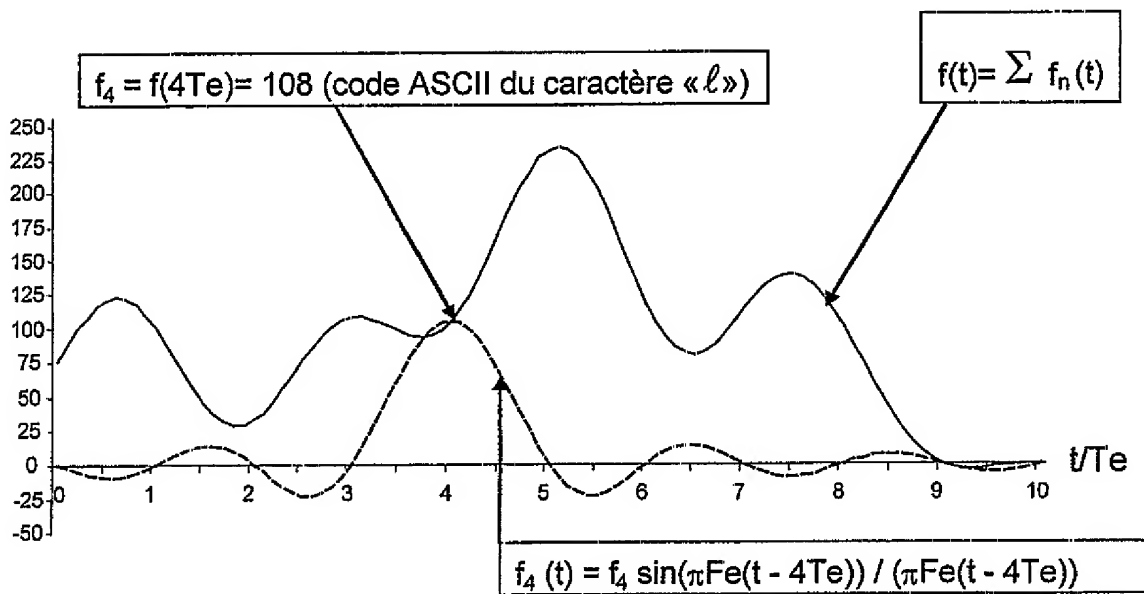
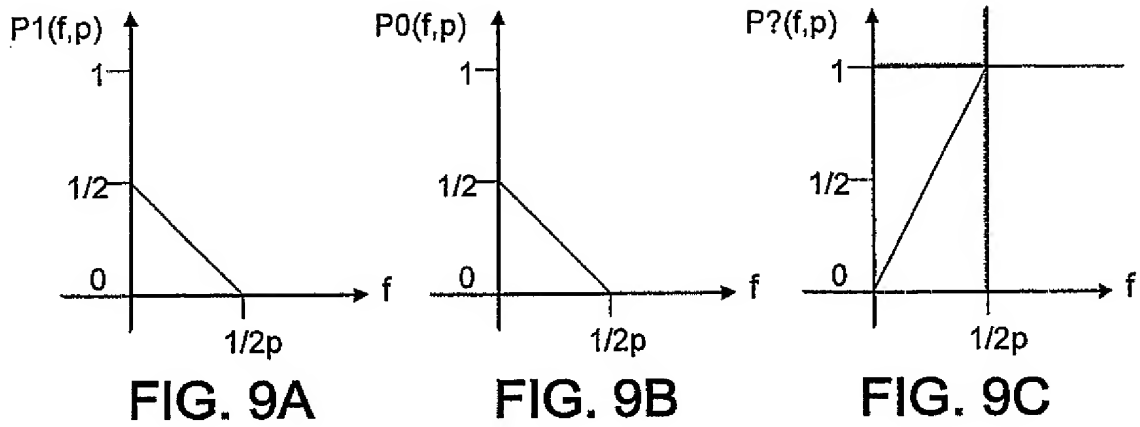


FIG. 10

10/17

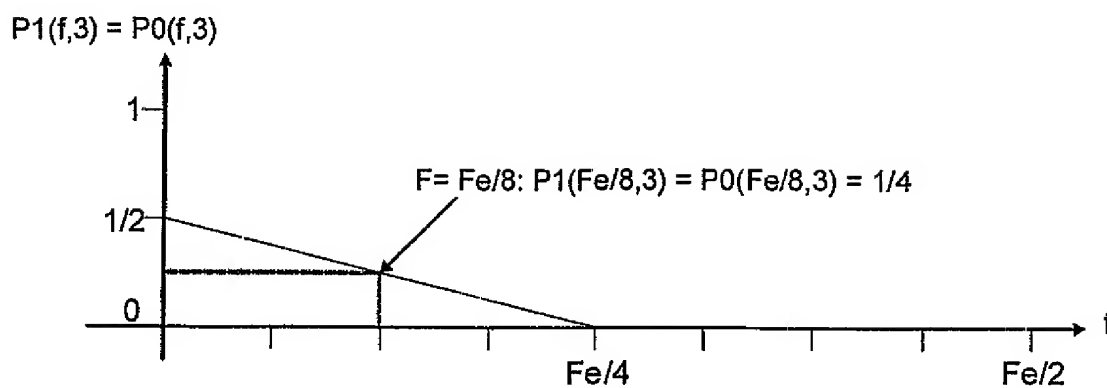


FIG. 11

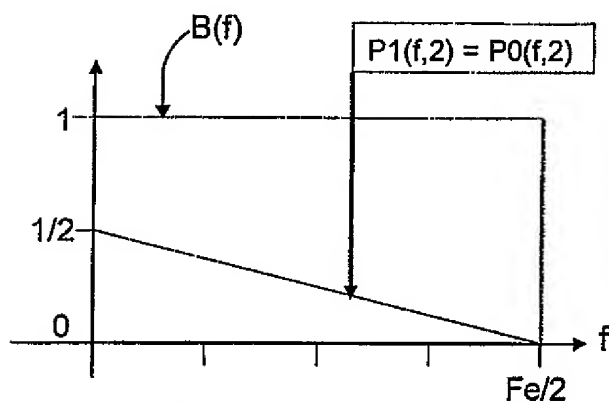


FIG. 12A

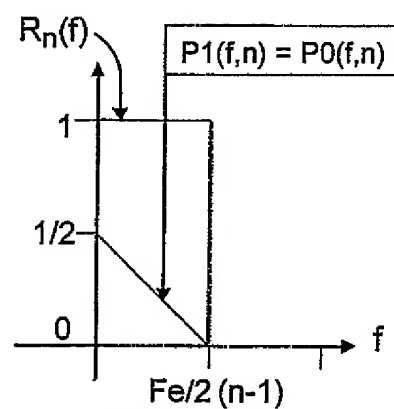


FIG. 12B

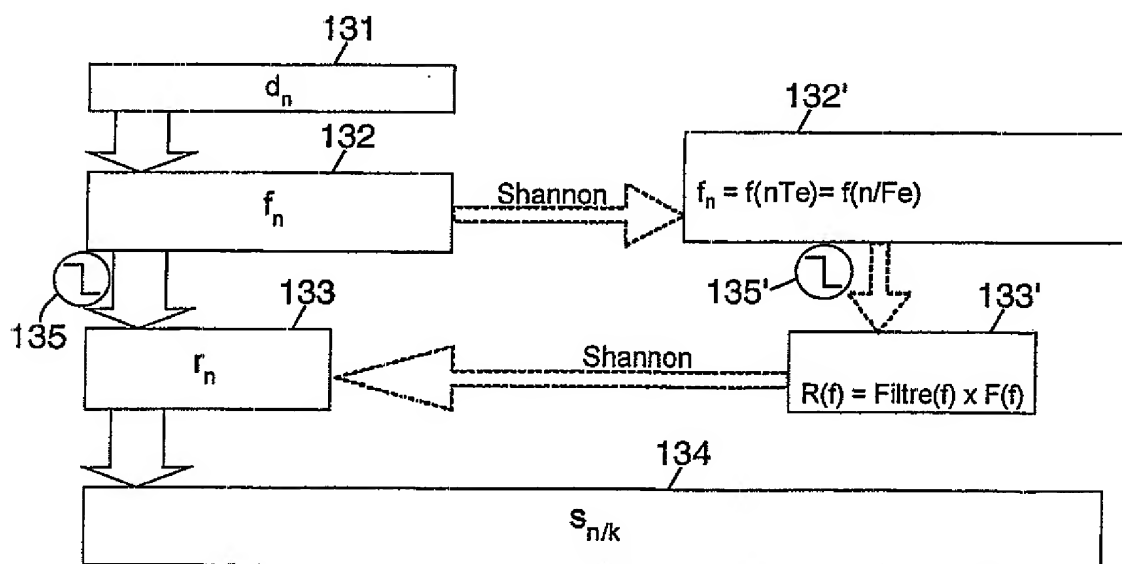


FIG. 13

11/17

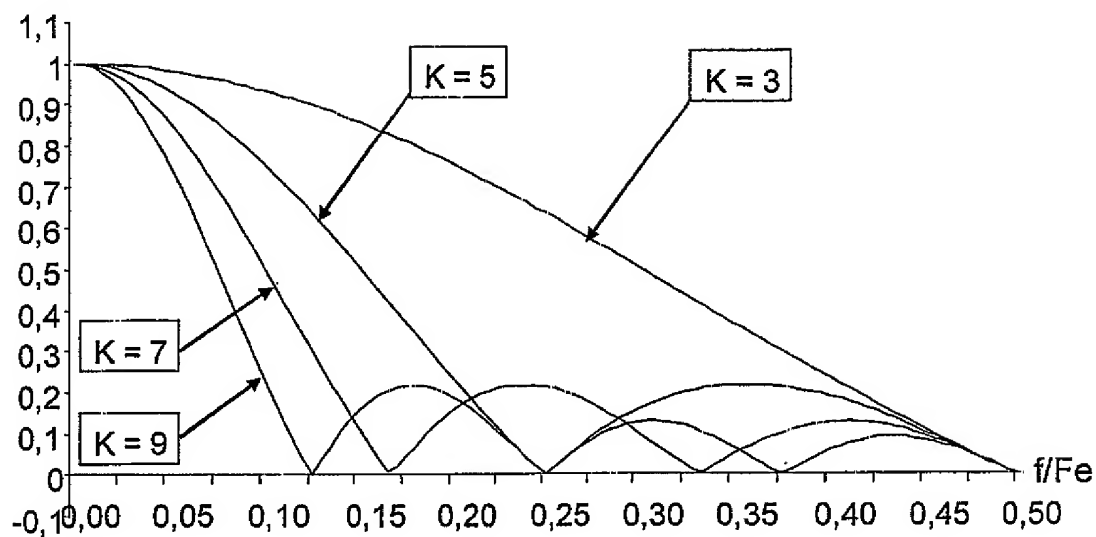
 $|\Sigma_{\text{moy}}(K, f)|$ 

FIG. 14

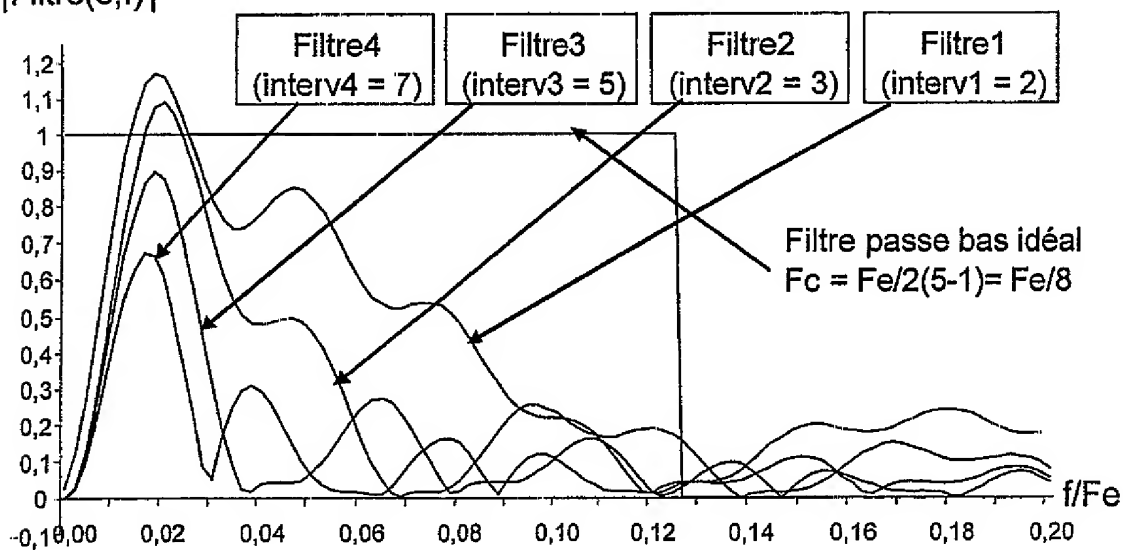
 $|\text{Filtre}(5, f)|$ 

FIG. 15

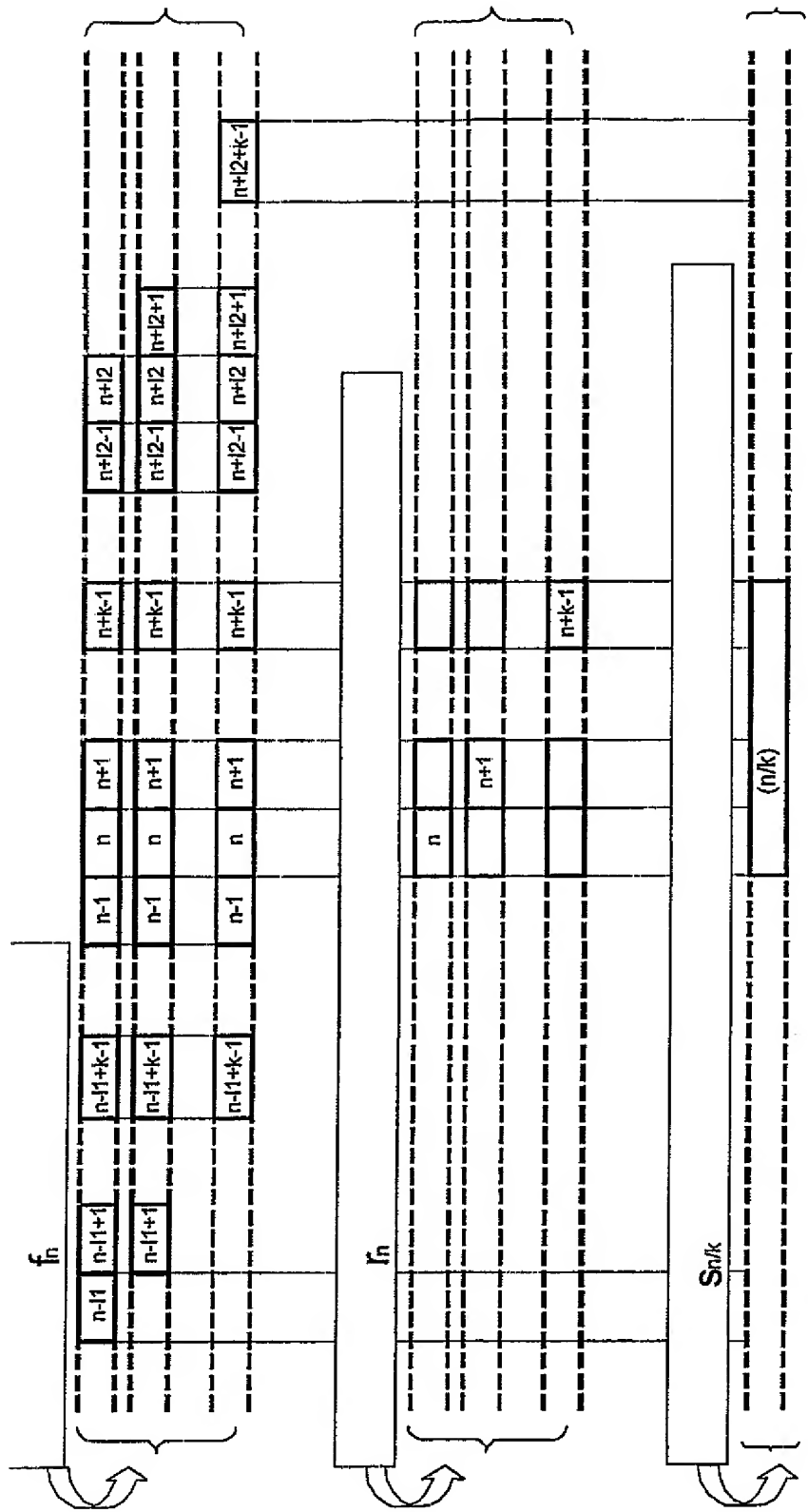


FIG. 16A

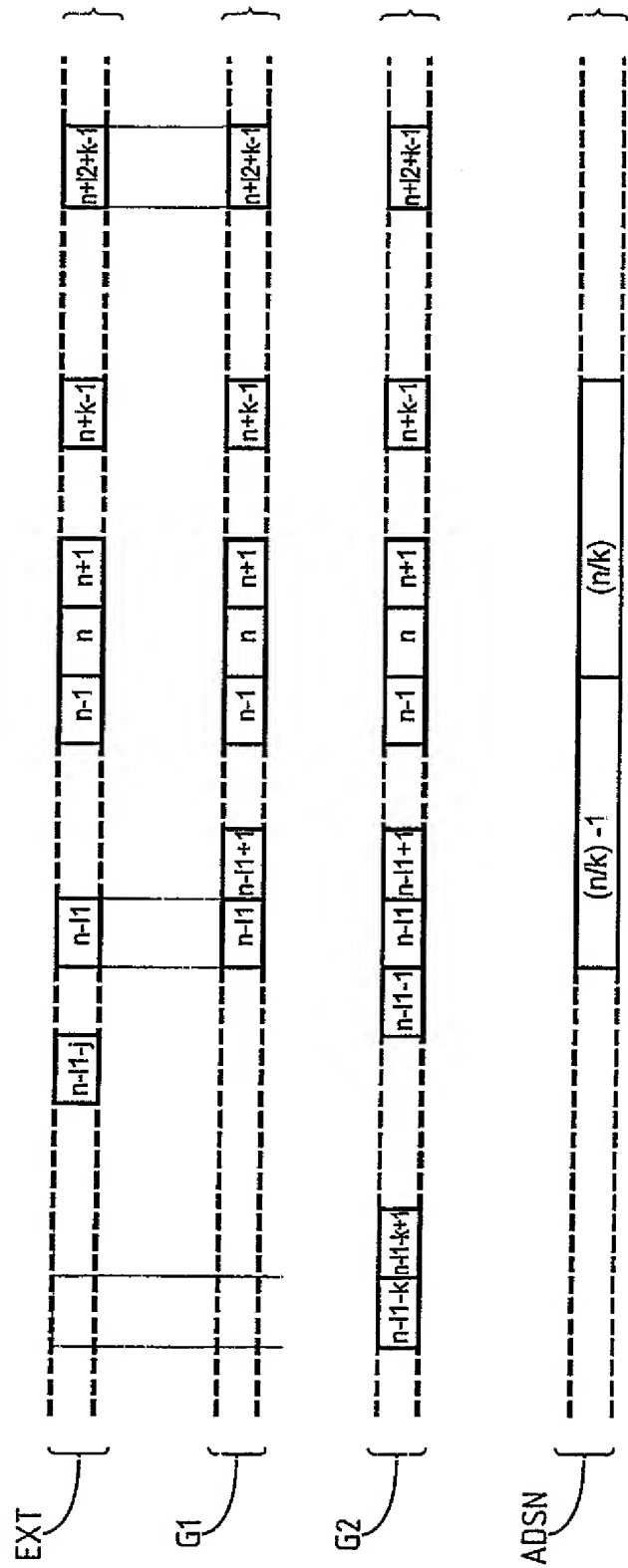


FIG. 16B

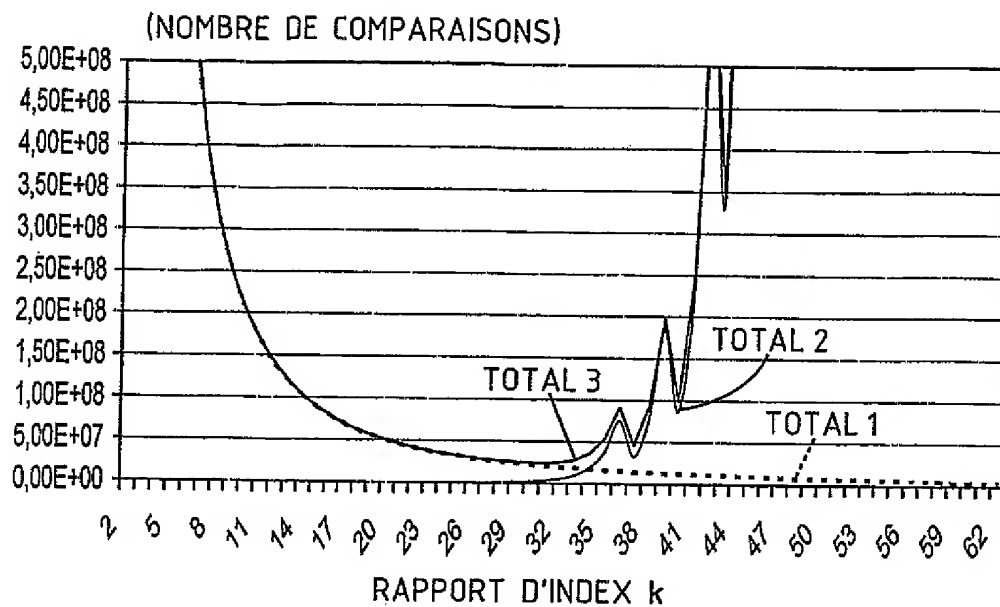


FIG. 17

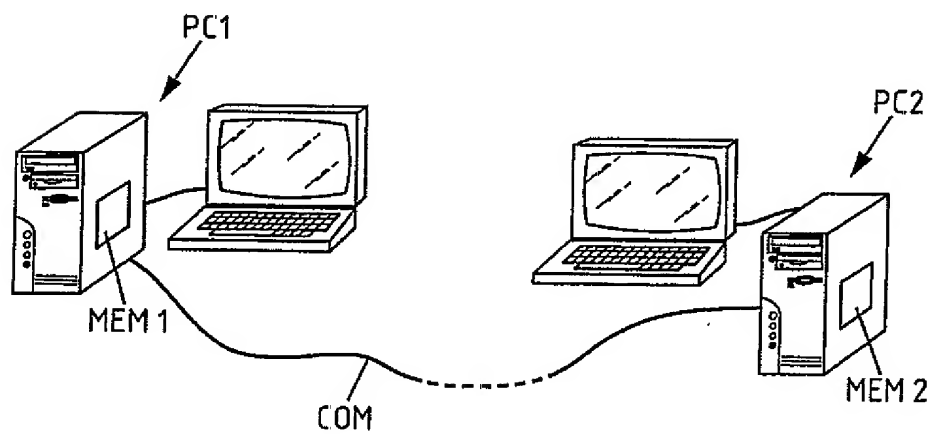


FIG. 18

FIG. 19A

Recherche des extraits communs à deux fichiers

Paramètres de recherche

Taille minimale des extraits communs de données à trouver: 150 Début de recherche

OK
Cancel

Consultation des extraits communs trouvés

Nombre d'extraits trouvés 3 Premier Précédent Suivant Dernier

Numéro d'extrait trouvé 1 Aller à: Taille de l'extrait commun 566

Taille cumulée des extraits utilisables pour régénérer le fichier 1 à partir du fichier 2 (octets) 0

Tri par ordre croissant de début d'extrait sur le fichier 1 Tri par ordre croissant de début d'extrait sur le fichier 2

Création de fichier archive de résultats de recherche

Sélection de fichier archive de résultats de recherche

Paramètres du 1er fichier

Nom: LA CONSTITUTION DE Répertoire: D:\DocHTML\ Taille (octets): 85390

Position de la 1ère donnée affichée dans la fenêtre: 219

Fenêtre d'affichage du 1er fichier:

☒ Mode texte
☐ Mode hexadécimal
☐ Mode unsigned char
☐ Mode signed char

E</TITLE>
<META content="text/html; CHARSET=iso-8859-1" http-equiv=Content-Type>
<META content="MSHTML 5.00.2614.3500" name=GENERATOR>
<META content="Assemblée nationale : constitution, procédure parlementaire, processus lég name=description>

Sélection du 1er fichier

Paramètres du 2nd fichier

Nom: RÉGLEMENT DE L'ASS Répertoire: D:\DocHTML\ Taille (octets): 213275

Position de la 1ère donnée affichée dans la fenêtre: 208

Fenêtre d'affichage du 2nd fichier:

☒ Mode texte
☐ Mode hexadécimal
☐ Mode unsigned char
☐ Mode signed char

E</TITLE>
<META content="text/html; CHARSET=iso-8859-1" http-equiv=Content-Type>
<META content="MSHTML 5.00.2614.3500" name=GENERATOR>
<META content="Assemblée nationale : constitution, procédure parlementaire, processus lég name=description>

Sélection du 2nd fichier

Suivi de recherche

Temps écoulé 00 h 00 m 01 s OK Abandon

Nombre d'extraits trouvés 3

Evaluations

Avancement % 42

■■■■■■■■■■

Durée de recherche 00 h 00 m 02 s Temps restant 00 h 00 m 01 s

Vitesse de recherche en Méga comparaisons par seconde 7721.58

FIG. 19B

Identification d'extraits audio d'un fichier d'enregistrement de format WAVE														
Paramètres de recherche Précision de la recherche (Hz): <input type="text" value="5"/> Durée minimale d'extrait (sec.): <input type="text" value="20"/> Début de recherche: <input type="text"/> Bruit (en % du niveau max): <input type="text" value="0"/>					<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>									
Consultation des extraits trouvés Nombre d'extraits trouvés: <input type="text" value="83"/> Premier Précédent Suivant Dernier Numéro d'extrait trouvé: <input type="text" value="1"/> Aller à Durée de l'extrait courant: <input type="text" value="0 h 00 m 00 s 00"/> Sauvegarde de signature d'extrait: <input type="text"/> Durée cumulée des extraits trouvés: <input type="text" value="0 h 37 m 15 s 60"/>					<input type="button" value="Création de fichier archive de résultats de recherche"/> <input type="button" value="Sélection de fichier archive de résultats de recherche"/>									
Paramètres de l'enregistrement à analyser Nom: <input type="text" value="FM 20040303_093500F"/> Répertoire: <input type="text" value="D:\AudioRadio\FM"/> Durée: <input type="text" value="1 h 00 m 00 s 00"/> Références: <table border="1"> <tr> <td>Source audio:</td> <td><input type="text" value="FM"/></td> <td><input type="button" value="Sélection de fichier wave"/></td> </tr> <tr> <td>Réception Page:</td> <td><input type="text" value="103.9 MHz"/></td> <td><input type="button" value="Création de signature"/></td> </tr> <tr> <td>Format de numérisation audio:</td> <td><input type="text" value="1"/></td> <td><input type="button" value="Sélection de signature"/></td> </tr> </table>						Source audio:	<input type="text" value="FM"/>	<input type="button" value="Sélection de fichier wave"/>	Réception Page:	<input type="text" value="103.9 MHz"/>	<input type="button" value="Création de signature"/>	Format de numérisation audio:	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Sélection de signature"/>
Source audio:	<input type="text" value="FM"/>	<input type="button" value="Sélection de fichier wave"/>												
Réception Page:	<input type="text" value="103.9 MHz"/>	<input type="button" value="Création de signature"/>												
Format de numérisation audio:	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Sélection de signature"/>												
Durée de l'extrait trouvé: <input type="text"/> De: <input type="text"/> à: <input type="text"/>														
Paramètres de la base d'enregistrements de référence Nombre d'enregistrements: <input type="text" value="244"/> Premier Précédent Suivant Dernier Numéro d'enregistrement: <input type="text" value="1"/> Aller à Fermer Variables Durée cumulée de la base: <input type="text" value="41 h 31 m 14 s 20"/> Nom: <input type="text" value="01-Jazz wav"/> Répertoire: <input type="text" value="D:\AudioWave\Claude\"/> Durée: <input type="text" value="0 h 02 m 26 s 40"/> Références: <table border="1"> <tr> <td>Format de numérisation audio:</td> <td><input type="text" value="PCM 44,100 kHz; 16 bits; Stéréo"/></td> <td><input type="button" value="Sélection de fichiers wave"/></td> </tr> <tr> <td>Plage horaire de la signature numérique:</td> <td><input type="text" value="Début: 0 h 00 m 00 s 00"/></td> <td><input type="button" value="Création de signature"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input type="button" value="Sélection de signature"/></td> </tr> </table>						Format de numérisation audio:	<input type="text" value="PCM 44,100 kHz; 16 bits; Stéréo"/>	<input type="button" value="Sélection de fichiers wave"/>	Plage horaire de la signature numérique:	<input type="text" value="Début: 0 h 00 m 00 s 00"/>	<input type="button" value="Création de signature"/>			<input type="button" value="Sélection de signature"/>
Format de numérisation audio:	<input type="text" value="PCM 44,100 kHz; 16 bits; Stéréo"/>	<input type="button" value="Sélection de fichiers wave"/>												
Plage horaire de la signature numérique:	<input type="text" value="Début: 0 h 00 m 00 s 00"/>	<input type="button" value="Création de signature"/>												
		<input type="button" value="Sélection de signature"/>												
Durée de l'extrait trouvé: <input type="text"/> De: <input type="text"/> à: <input type="text"/> <input type="button" value="Sélection de librairie de signatures"/>														

FIG. 19C

Enregistrement de signatures numériques audio									
Caractéristiques de la voie d'enregistrement audio									
Ligne audio	Wave Out Mix			Vu mètre					
Format	PCM 22,050 KHz; 16 bits; Mono			Etat	Présence de signal audio			[71]	
Programmation horaire d'enregistrements									
<input checked="" type="checkbox"/> Activée	Heure Début	[16 h] [30 m] [0 s]	Date ([m/a])	[15 /] [3 /]	[2004]				
<input type="checkbox"/> Désactivée	Heure Fin	[19 h] [0 m] [0 s]	Date ([m/a])	[15 /] [3 /]	[2004]				
<input checked="" type="checkbox"/> Segmentation des fichiers d'enregistrement (durée plafond)	[2 h]		[0 m]						
Configuration des fichiers d'enregistrement									
Nom de source audio	Finfo			Répertoire de stockage	D:\AudioRadio\				
Description	Info Réception Paris 105.5 MHz								
<input checked="" type="checkbox"/> Fichier wave	Nom	Finfo 20040315_163000.wav			Etat		En cours de création		
<input type="checkbox"/> Signature 1 : Précision [Hz]	[25]	Nom			Finfo 20040315_163000F25.sil		Etat Création non activée		
<input checked="" type="checkbox"/> Signature 2 : Précision [Hz]	[5]	Nom			Finfo 20040315_163000F5.sil		Etat En cours de création		
<input type="checkbox"/> Signature 3 : Précision [Hz]	[2]	Nom			Finfo 20040315_163000F2.sil		Etat Création non activée		
Contrôles d'enregistrement									
<input checked="" type="checkbox"/> Marche	Heure courante	[16 h 34 m 59 s]	Date	[15/03/2004 ([m/a])]			Temps écoulé [0 h 04 m 59 s]		
<input type="checkbox"/> Arrêt	Heure de début	[16 h 30 m 00 s]	Date	[15/03/2004 ([m/a])]			Durée enregistrée [0 h 04 m 42 s]		